



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Sistemi Industriali e dell'Informazione

**Studio e progettazione di un impianto elettrico per il controllo di un
sistema di aspirazione centralizzato a frequenza variabile e regolazione
automatica**

Study and design of an electrical system to control a centralized vacuum system with
variable frequency and automatic regulation

Relatore:

Prof. Michele Aurelio

Tesi di Laurea di:

Simone Sanchini

A.A. 2023/2024

Sommario

1.Introduzione.....	7
2. L'azienda.....	8
3. Aspiratori industriali.....	10
3.1 Concetti base di fluidodinamica	10
3.2 Principi di funzionamento di un aspiratore industriale.....	12
3.3 Tipologie di aspirazione.....	15
4. L'esperienza del tirocinio	16
4.1 Dimensionamento dell'unità aspirante	16
4.2 Programmazione e introduzione al PLC/HMI	17
4.3 Progettazione di quadri elettrici.....	18
4.4 Collaudo di un aspiratore	18
4.5 Ulteriori attività.....	19
5. PCB Custom 18,5 kW	20
5.1 Scheda tecnica.....	20
5.2 Obiettivo dell'impianto.....	21
6.Struttura dell'impianto aeraulico	23
6.1 Layout dell'impianto.....	23
6.2 Le macchine di lavorazione PCB.....	23
6.3 Unità vacuum: soffiante a canale laterale	24
6.4 L'unità filtrante e il sistema di pulizia	25
6.5 Il ciclone	26
6.6 Scarico: la rotovalvola	27
6.7 Dimensionamento delle tubazioni	27
7.Il quadro elettrico.....	29

7.1 Alimentazione del quadro	29
7.2 Caratteristiche meccaniche del quadro	32
7.3 Messa a terra dell'impianto.....	32
8. Componenti principali del quadro elettrico.....	34
8.1 Sezionatore.....	34
8.2 Fusibili	35
8.3 Interruttore automatico.....	35
8.4 Contattori	38
8.5 Relè	38
8.6 Termostato e ventilazione	39
8.7 Relè di monitoraggio tensione	41
8.8 Alimentatore.....	41
8.9 Inverter.....	42
9. Dispositivi di controllo e segnalazione.....	45
9.1 PLC	45
9.2 Fungo di emergenza e comando rotovalvola	46
9.3 Pulsante blu di ripristino emergenza.....	47
9.4 Interruttore di interblocco di sicurezza	47
9.5 Elettrovalvole.....	48
9.6 Sensore di pieno	49
9.7 Pressostato	49
9.8 Sirena	50
9.9 HMI.....	50
10. Schema e collegamenti elettrici del quadro.....	54
10.1 Collegamento del quadro all'alimentazione	54
10.2 Collegamento inverter.....	55

10.3 Collegamento rotovalvola.....	56
10.4 Collegamento alimentatore e relè di monitoraggio tensione	57
10.4 Collegamento termostato e ventilazione	58
10.5 Collegamento HMI	59
10.6 Collegamento ausiliari e circuito sensori di pressione.....	60
10.7 Collegamento ingressi e uscite PLC	61
11. Interfaccia utente	64
11.1 Schermata principale: lato utente.....	64
11.2 Schermata principale: lato manutentore.....	66
12. Regolazione automatica con controllore PID.....	68
12.1 I sistemi di controllo	68
12.2 Controllo ad anello aperto e ad anello chiuso	68
12.3 Controllo PID.....	71
12.3 L'utilità della regolazione automatica.....	75
12.4 Controllo di pressione a bordo dei macchinari	77
12.5 Schema funzionale del sistema completo	85
12.5 Fase di collaudo	86
13. Industria 4.0 e risparmio energetico	87
13.1 Industria 4.0	87
13.2 Il risparmio energetico	88
14. Conclusioni.....	90
Ringraziamenti finali	91
Bibliografia.....	92

1.Introduzione

La seguente tesi ha come obiettivo illustrare la progettazione e realizzazione di un impianto di aspirazione industriale centralizzato di 18,5 kW a frequenza variabile dotato di regolazione automatica, facendo particolare attenzione sulla logica dei controlli utilizzati, il dimensionamento del quadro e la sua componentistica.

Le conoscenze che mi hanno permesso di compiere il seguente progetto mi sono state fornite in parte nel corso della mia carriera universitaria ed in parte apprese in sede di tirocinio con l'aiuto del tutor aziendale ed i colleghi.

Durante i primi mesi di tirocinio è stato fatto un percorso di introduzione al modo di lavorare di un'azienda strutturata, imparando a conoscere le procedure utilizzate, il software gestionale, l'utilizzo di una codifica e anche una parte di attività pratiche atte a capire il processo con il quale si arriva al prodotto finale.

2. L'azienda

Il tirocinio è stato svolto presso iVision Evolution S.R.L., ovvero l'ufficio tecnico dedicato alla progettazione e allo sviluppo di nuove soluzioni, appartenente ad iVision Group.



Logo dell'azienda

iVision Vacuum è una realtà creata nel 2010 da Andrea Alessandrini, che, forte dell'esperienza manageriale ed imprenditoriale maturata nel settore della metalmeccanica, e avendo una forte vocazione all'innovazione, decide di fondare un'azienda che produce aspiratori industriali. Nel 2010 viene lanciato sul mercato il primo aspiratore industriale a ventola ad alta portata per il settore serramentisti. La forza di iVision Vacuum sta nella realizzazione di aspiratori industriali carrellati fortemente customizzati per specifici settori, rendendo così l'aspiratore stesso una parte fondamentale del processo di produzione.

Nel 2016 la sempre maggiore importanza nel mercato internazionale degli aspiratori industriali prodotti, porta alla creazione di una nuova azienda all'interno del gruppo iVision, ovvero iVision Evolution, che si occupa di ricerca e sviluppo nell'automazione industriale.

L'espansione della rete vendita in Europa, Asia e America ha inoltre portato ad aprire una filiale di iVision Vacuum negli Stati Uniti a Ft. Lauderdale negli USA, la iVision Industrial Vacuum LLC.

Nel 2019, RIBO, il marchio più prestigioso dell'aspirazione industriale, entra nel gruppo iVision. Dopo 50 anni di storia e una reputazione di straordinaria robustezza e affidabilità, il marchio bolognese viene acquisito da iVision Vacuum, che trasferisce produzione e know-how nella sede centrale di Cattolica. Dall'unione tra l'esperienza RIBO e la carica innovativa di iVision, nasce una nuova generazione di aspiratori intelligenti, capaci di unire le qualità di macchine estremamente affidabili e infaticabili, alla potenza della tecnologia

digitale. Il mix perfetto per vincere la sfida industria 4.0, creando macchine che includono processi avanzati di automazione, raccolta ed analisi dei dati e processi di autoregolazione.

Nel 2022 si ha un trasferimento della sede da Cattolica (RN) a Montegridolfo (RN) arrivando sino ai giorni d'oggi.

L' iVision Group è composto da:

-iVision Vacuum

-iVision Evolution

-iVision Communication

-iVision LLC

3. Aspiratori industriali

Un aspiratore industriale è un dispositivo progettato per rimuovere trucioli, polveri, fumi, vapori e altri contaminanti dall'aria in ambienti di lavoro. Prima di andare più sullo specifico è necessario però introdurre dei concetti di base.

3.1 Concetti base di fluidodinamica

Per capire al meglio la seguente tesi è necessario approfondire dei concetti che verranno poi richiamati in seguito.

Depressione: la depressione in un impianto di aspirazione si riferisce alla riduzione della pressione atmosferica all'interno del sistema rispetto alla pressione esterna. Negli impianti di aspirazione in quanto si tratta di una pressione negativa è necessario utilizzare un'unità di misura più piccola, viene quindi definita in millibar [mbar], ovvero 1/1000 di bar o in Pascal [Pa], dove 1 Pascal è uguale a circa 0,01 mbar.

All'interno dell'aspiratore viene generata sempre dall'unità vacuum. Essa può essere misurata attraverso un manometro, o come nel nostro caso da dei trasduttori di pressione in grado di convertire la pressione in un segnale elettrico, che può essere visualizzato su un display, molto utilizzati in applicazioni industriali per fornire letture continue.

Portata: la portata è la quantità di aria che passa attraverso un certo punto del sistema (nel nostro caso la tubazione) in un'unità di tempo. Viene solitamente espressa in metri cubi all'ora (m³/h). Una buona portata è fondamentale per garantire che l'impianto funzioni in modo efficiente; in base al materiale è necessario garantire una velocità minima all'interno della tubazione, ricavabile con una semplice formula.

$$V = \frac{Q}{A}$$

dove:

- V è la velocità del fluido (m/s),
- Q è la portata del fluido (m³/s),
- A è l'area della sezione trasversale del tubo (m²).

Per il calcolo è importante assicurarsi di avere la portata espressa in m³/s e il diametro in metri per ottenere la velocità in m/s

Perdite di carico: le perdite di carico si riferiscono alla diminuzione di pressione che si verifica quando l'aria o la miscela composta da aria e materiale scorrono attraverso un sistema. Queste perdite sono composte dalla somma di:

1. **Perdite distribuite:** si riferiscono alle perdite di energia che si verificano lungo un condotto a causa dell'attrito del fluido che scorre all'interno del tubo. Queste perdite non sono concentrate in un singolo punto ma distribuite lungo tutta la tubazione.

Per calcolarle è possibile utilizzare la seguente formula:

$$\Delta P_{dis} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

Dove:

- ΔP_{dis} è la perdita di pressione (Pa),
 - f è il coefficiente di attrito (dimensionale, dipende dal tipo di flusso e dalla rugosità del tubo),
 - L è la lunghezza del tubo (m),
 - D è il diametro del tubo (m),
 - ρ è la densità del fluido (kg/m³),
 - v è la velocità del fluido (m/s).
2. **Perdite concentrate:** si riferiscono alle perdite di energia che si verificano in punti specifici, come in curve, valvole, cambi di diametro o altri componenti che alterano il flusso del fluido. Queste perdite sono definite "concentrate" perché non si distribuiscono lungo la lunghezza del tubo, ma si verificano in punti specifici.
- Per calcolarle è possibile utilizzare la seguente formula:

$$\Delta P_{con} = K \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

Dove:

- ΔP_{con} è la perdita di pressione (Pa),

- K è il coefficiente di perdita (dimensionale), che dipende dalla geometria della sezione e dal tipo di apparecchiatura,
- ρ è la densità del fluido (kg/m^3),
- v è la velocità del fluido (m/s).

La depressione, la portata e le perdite di carico sono interconnessi. Una corretta progettazione dell'impianto deve tenere in considerazione queste variabili per assicurare un funzionamento efficiente. Se le perdite di carico fossero elevate, potrebbero richiedere una maggiore potenza per mantenere la portata desiderata e garantire una sufficiente depressione nel sistema.

3.2 Principi di funzionamento di un aspiratore industriale

Il funzionamento può essere sintetizzato nei seguenti processi:

-Aspirazione: l'aspiratore crea un flusso d'aria grazie a un motore elettrico che aziona una ventola o una soffiante a canale laterale (chiamate anche unità vacuum). Queste rotando permettono di creare una differenza di pressione con l'ambiente esterno (definita depressione) e di conseguenza generare un flusso d'aria, detto portata. Le taglie delle motorizzazioni possono andare dai 1,5 kW fino ai 25 kW.

-Filtrazione: l'aria aspirata passa attraverso uno o più filtri. Questi possono essere di diversi tipi, come filtri a sacco, filtri a cartuccia o filtri HEPA, a seconda della dimensione, della natura del materiale aspirato e del grado di filtrazione richiesto.

- Preseparatore ciclonico: in alcuni modelli si utilizza questo dispositivo che realizza una preseparazione meccanica.

Esso permette di rimuovere le particelle più grosse prima che l'aria arrivi ai filtri, utilizzando il principio di "ciclonatura", che consiste nel manipolare attraverso processi fluidodinamici il materiale aspirato, che scorrendo sulla parete, e dissipando la sua energia attraverso l'attrito con il ciclone, lo fa cadere verso il basso.

Ciò consente di preservare al meglio i sistemi di filtrazione ed avere una pre-separazione utile, in quanto questi dispositivi sono in grado di trattare mediamente il 98 % del materiale.

-Accumulo: ogni aspiratore è provvisto di un accumulatore dove viene raccolto il materiale aspirato che sia polvere o truciolo. Un'alternativa può essere l'utilizzo di sistemi a scarico continuo, come una rotovalvola.

-Espulsione dell'aria: l'aria aspirata dopo aver effettuato il suo ciclo ed esser passata attraverso i filtri viene quindi reimpressa nell'ambiente.

In alcune applicazioni può essere richiesta della particolare attenzione per evitare l'emissione di particelle dannose, utilizzando ulteriori filtri sullo scarico.

-Controllo e monitoraggio: molti aspiratori industriali sono dotati di sistemi di monitoraggio che avvisano quando è necessario sostituire o pulire i filtri, garantendo sempre prestazioni ottimali.

Oppure possiedono dei controllori (PLC) o della logica cablata che gli permette di effettuare delle pulizie filtro in autonomia, in modo temporizzato, o utilizzando algoritmi che interpretano le condizioni del filtro attraverso misure di pressione in punti specifici.

In sintesi, gli aspiratori industriali sono fondamentali per mantenere un ambiente di lavoro sicuro e pulito, diventando parte integrante di un impianto di lavorazione.



Esempio di un aspiratore carrellato iVision e le parti che lo compongono

3.3 Tipologie di aspirazione

Esistono diverse tipologie di aspirazione possibili, per ovviare a esigenze diverse, prevalentemente vengono suddivisi in due gruppi:

- Aspirazione locale: si tratta del tipo di aspirazione più diffusa nei piccoli ambienti, e consiste nel posizionare l'aspiratore vicino alla fonte dalla quale si vuole aspirare. Al massimo viene collegato a due macchinari vicini tra di loro, attraverso delle tubazioni flessibili.

- Aspirazione centralizzata: L'aspirazione centralizzata è un sistema di raccolta e filtrazione dell'aria progettato per gestire più macchinari in un ambiente industriale. Questo sistema utilizza una rete di tubazioni rigide per aspirare l'aria da diverse sorgenti e convogliarla verso un'unità centrale di filtrazione e raccolta/scarico.

Di seguito una lista dei vantaggi e svantaggi di un sistema centralizzato.

Vantaggi dell'aspirazione centralizzata	Svantaggi dell'aspirazione centralizzata
Efficienza operativa: Gestisce più punti contemporaneamente.	Complessità dell'installazione: Richiede progettazione dettagliata.
Riduzione del rumore: Unità centrale lontana dalle aree di lavoro.	Manutenzione della rete di tubazioni: Richiede controlli regolari.
Spazio: Liberare spazio attorno ai macchinari.	Limitazione nella mobilità: Difficile spostare il sistema.
Manutenzione semplificata: Una sola unità da gestire.	Potenziale perdita di efficienza: Rischio di perdite di carico se non adeguatamente progettata.
Efficacia di filtrazione: Filtri più grandi ed efficaci.	Difficoltà di aggiornamento: Le modifiche richiedono ristrutturazioni.
Flessibilità: Facile ampliamento per nuove macchine.	Consumo energetico: Possibile maggiore consumo rispetto a unità portatili, se non ottimizzate.
Controllo della polvere: Ambiente di lavoro più sicuro, con possibilità di spostare l'aspiratore esternamente	Distanza dal punto di aspirazione: Può influenzare l'efficacia.
Costi a lungo termine: Spese operative ridotte nel tempo.	Costo iniziale elevato: Investimento significativo necessario.

4. L'esperienza del tirocinio

Durante lo svolgimento del tirocinio ho avuto modo di mettere in pratica diverse delle competenze acquisite nel corso degli studi.

Nelle prime fasi dopo esser stato introdotto al mondo dell'aspirazione ho svolto le prime mansioni, che consistevano in modifiche mirate in quadri esistenti, con una fase di "problem solving" ed una di messa in pratica, attraverso l'esecuzione delle modifiche e il collaudo di esse.

4.1 Dimensionamento dell'unità aspirante

Dopodiché sono stato introdotto ad un compito essenziale per avere un efficiente aspirazione: valutare la corretta unità vacuum per l'applicazione che l'aspiratore deve affrontare.

Per unità vacuum si fa riferimento all'insieme motore, coclea e girante utilizzati per creare la depressione. In questo modo è possibile ricavare la potenza elettrica assorbita dall'aspiratore.

Il dimensionamento consiste nel calcolo delle perdite di carico delle tubazioni dal quale si vuole aspirare, tenendo in considerazione fattori come:

- diametro delle tubazioni.
- lunghezza delle tubazioni.
- caratteristiche costruttive delle tubazioni.
- caratteristiche del materiale da aspirare (densità, dimensioni, condizioni fisiche).
- temperatura e altitudine del luogo di collocazione dell'aspiratore.

Il calcolo delle perdite di carico viene eseguito su un foglio di calcolo Excel dove è possibile inserire la disposizione delle tubazioni, la tipologia e la lunghezza; il foglio di calcolo attraverso delle macro in Visual Basic permette di trovare l'intersezione tra la curva caratteristica dell'impianto, e quella dell'unità vacuum, determinandone il punto di lavoro.

Inoltre, è possibile eseguire anche l'operazione inversa, ovvero dimensionare le tubazioni di un impianto, partendo dall'unità vacuum, modificando i diametri per rendere le velocità all'interno delle tubazioni adeguate al trasporto di materiale; questo ultimo metodo è

utilizzato quando un cliente possiede già un aspiratore e necessità di cambiare la disposizione delle tubazioni.

4.2 Programmazione e introduzione al PLC/HMI

Durante il tirocinio ho avuto inoltre la possibilità di effettuare delle modifiche software all'interno dei PLC, e all'interfaccia HMI, dispositivi che vengono utilizzati negli aspiratori più evoluti.

L'azienda utilizza nella maggioranza degli aspiratori dei PLC custom propri e progettati per la specifica applicazione, dotati di:

- Ingressi digitali
- Ingressi analogici
- Uscite analogiche
- Uscite Relè
- Sensori di pressione differenziali (on board)

Essi vengono alimentati con una tensione di 24 V AC o DC (a seconda del modello), e vengono programmati in linguaggio C.

In alcuni aspiratori, viene inoltre utilizzato il LOGO di Siemens per sostituire in modo più compatto la logica cablata, programmato in linguaggio Ladder.

Per l'interfaccia HMI è utilizzato un pannello touchscreen di Weintek da 7" CMT-3072XH2, comunicante con il PLC.

Per essere sviluppato è utilizzato EasyBuilder Pro, un software fornito dalla casa madre Weintek.

4.3 Progettazione di quadri elettrici

Un altro ruolo svolto è quello di progettista di quadri elettrici.

Essi vengono co-progettati assieme all'azienda fornitrice di quadri elettrici che vengono poi consegnati completi, precollaudati e provvisti di dichiarazione di conformità.

Le caratteristiche principali per scegliere un quadro sono:

- Tensione di lavoro (400 V/ 230 V/ 600 V)
- Potenza (da 1,5 kW fino a 25 kW)
- Tipo di avviamento (diretto/stella triangolo/inverter)
- Mercato di destinazione, e di conseguenza ambito normativo (per esempio USA normativa UL e Canada normativa CSA)
- Funzionalità e accessori
- Protezioni elettriche dalle sovracorrenti

4.4 Collaudo di un aspiratore

L'attività di collaudo di un aspiratore è un processo sistematico che garantisce che esso funzioni in modo corretto e soddisfi le prestazioni richieste.

I passaggi tipici del collaudo sono:

- Ispezione visiva: verifica fisica e nel dettaglio di potenziali errori di assemblaggio o difetti.
- Test di Funzionamento: accensione dell'aspiratore, verifica del senso di rotazione dell'unità vacuum, e simulazione dei processi automatizzati (se presenti).
- Misura delle prestazioni: controllo della potenza di aspirazione, misurando il flusso d'aria e la depressione generate.
- Test sonoro: utilizzo di un fonometro per misurare l'intensità del rumore emesso durante il funzionamento, confrontando i risultati con le normative vigenti.
- Verifica delle protezioni: controllo delle misure di sicurezza, come la protezione contro il surriscaldamento e il corretto isolamento elettrico.
- Test di aspirazione: esecuzione di una prova pratica per valutare l'efficacia dell'aspiratore con il materiale, in caso di materiali o granulometrie particolari.

-Documentazione: registrazione dei risultati del collaudo, verifica della presenza dello schema elettrico del quadro e della matricola macchina

-Conformità della normativa: verifica che l'aspiratore soddisfi tutte le caratteristiche richieste dal cliente e dalle normative vigenti.

4.5 Ulteriori attività

Durante il corso del tirocinio sono state svolte inoltre attività come:

-lo sviluppo di soluzioni innovative in campo elettrico/pneumatico

-industrializzazione di soluzioni tecniche già esistenti

-risoluzione e assistenza della linea produttiva

Una delle attività più articolate svolte durante il tirocinio è stata la progettazione di due impianti di aspirazione centralizzati dotati di un aspiratore da 18,5 kW di potenza ciascuno, il modello è denominato PCB CUSTOM 4.0;

Uno di questi due impianti verrà preso in oggetto in seguito in modo approfondito.

5. PCB Custom 18,5 kW

Il PCB Custom di iVision è una tipologia di aspiratore non carrellato adatto a servire un impianto centralizzato collegato a numerosi macchinari che necessitano di aspirazione. Come viene richiamato all'interno del nome "Custom" significa che l'aspiratore, a differenza delle macchine standard è prodotto con soluzioni particolari atte a soddisfare al meglio le esigenze del cliente. La macchina è dotata di un modulo con ciclone e rotovalvola per permettere uno scarico continuo.

5.1 Scheda tecnica



Foto rappresentativa dell'aspiratore iVision PCB Custom

Potenza: 18,5 kW (Riferita all'unità aspirante)

Tensione: 400 V

Frequenza: Variabile

Depressione massima: 310 mbar

Portata massima: 1600 m³/h

Diametro bocchettone: 160 mm

Capacità contenitore: scarico continuo

Rumorosità: 75 dB(A)

Tipo di filtro: Cartuccia classe M Antistatico

Numero di filtri: 4 cartucce

Superficie filtrante: 40m²

Tipo di pulizia filtro: Controcorrente d'aria

Software 4.0: Sì

5.2 Obiettivo dell'impianto

L'obiettivo dell'impianto è quello di gestire con un singolo aspiratore, 10 bocchette di aspirazione collegate a macchine che si occupano della foratura di schede elettroniche PCB.

L'aspiratore si dovrà poi adattare in modo automatico tenendo un punto di pressione (target di pressione) costante indipendentemente dalle macchine in funzione, variando la potenza erogata attraverso l'utilizzo dell'inverter.

La pressione di impianto, variabile controllata, viene prelevata tramite un foro in prossimità dell'ingresso del ciclone mentre la pressione target viene impostata sul pannello di controllo.

Ogni macchinario sarà dotato poi di un sensore di pressione collegato all'imbocco della tubazione, comunicante con un feedback elettrico con il PLC.

Nel caso in cui i sensori di pressione montati sui macchinari dovessero rilevare valori di depressione inferiori a quelli di soglia impostati, il software provvederà ad incrementare il target fino al raggiungimento del consenso di tutti i sensori distribuiti sull'impianto, raggiungendo quindi la depressione minima richiesta.

Lo scarico della macchina sarà continuo all'interno di un big bag (o un contenitore a

discrezione del cliente) utilizzando una rotovalvola.

La pulizia dell'apparato filtrante formato da quattro cartucce avverrà con un sistema a controcorrente d'aria, comandata in modo autonomo dal PLC a seconda dell'intasamento del filtro.

6.Struttura dell'impianto aeraulico

Per avere un corretto funzionamento dell'impianto di aspirazione è necessario fare un'analisi approfondita delle perdite di carico, dimensionando le tubazioni in modo da ottenere buone velocità lungo tutti i tratti di esse.

6.1 Layout dell'impianto

La disposizione dell'impianto, che si adatta alle esigenze del cliente, prevede il posizionamento dell'aspiratore all'esterno dell'azienda, dentro un cabinato costruito su misura per proteggerlo dalle intemperie metereologiche.

L'impianto di aspirazione è composto da un tubo principale che si estende orizzontalmente, ad un'altezza di circa 3 metri, per una lunghezza di circa 5 metri. All'estremità del tubo principale, la condotta si divide in due direzioni con una biforcazione a 90 gradi.

- Ramo di sinistra: la parte sinistra della tubazione si dirama ulteriormente e prevede quattro punti di aspirazione, con una lunghezza di circa 10 metri. Questi punti sono posizionati strategicamente per ottimizzare l'efficienza dell'aspirazione.
- Ramo di destra: la parte destra della tubazione, invece, presenta una configurazione più complessa, con sei punti di aspirazione, per una lunghezza totale di circa 13 metri. Anche in questo caso, i punti sono disposti in modo da garantire un'aspirazione adeguata dalle macchine.

6.2 Le macchine di lavorazione PCB

I macchinari da cui il cliente ha necessità di aspirare sono dieci stazioni di lavoro dedicate alla foratura di schede PCB. Ognuna di esse è dotata di un raccordo situato nella parte posteriore del macchinario dove può essere collegato il tubo di aspirazione.

Il diametro della tubazione è di due taglie, \varnothing 32 mm e \varnothing 40 mm.

Internamente l'aspirazione avviene attraverso una cappa collegata ad una tubazione flessibile di \varnothing 25 mm, che segue l'utensile durante la lavorazione garantendo una buona pulizia. Di seguito l'esempio di una delle macchine utilizzate da cliente.



Figura 4: Macchina di lavorazione PCB di Pluritec

6.3 Unità vacuum: soffiante a canale laterale

Considerate le dimensioni dell'impianto ed eseguito un calcolo di massima preliminare, fatto in fase di offerta al cliente, l'unità vacuum scelta è una soffiante a canale laterale ad alta portata di Seko, da 18,5 kW.

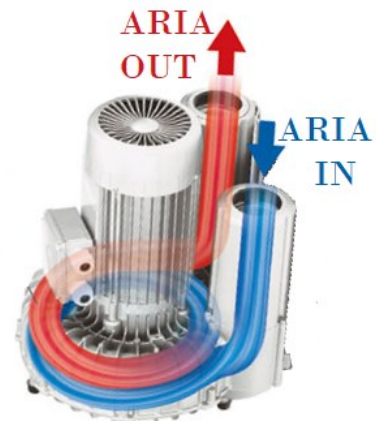
Il funzionamento

L'aria entra attraverso la bocca di aspirazione fino ad arrivare alla girante.

La girante è collegata direttamente ad un albero rotante che spinge l'aria in ingresso nella direzione in cui esso ruota.

Attraverso la forza centrifuga generate dalle pale acceleratrici della girante l'aria viene spinta fuori, nel mentre aumentando la pressione.

A ogni rotazione, l'energia cinetica aumenta, e a sua volta crea un incremento di pressione. Infine, l'aria compressa esce dalle pale della girante e viene convogliata attraverso il silenziatore di mandata.



Scheda tecnica: BL93

La soffiante scelta per l'impianto è il modello BL93 da 18,5 kW di Seko.

Essa è una soffiante a canale laterale ad alta portata, ovvero un modello dove viene "sacrificata" una parte di depressione generata in cambio di più portata d'aria.

Le caratteristiche tecniche sono:

- Tensione nominale: 400 V
- Frequenza: 50/60 Hz
- Potenza generata: 18,5 kW (a 50 Hz)
- Depressione massima generata: 310 mbar (a 50 Hz)
- Portata d'aria massima generata: 1350 m³/h (a 50 Hz)

6.4 L'unità filtrante e il sistema di pulizia

L'unità filtrante montata all'interno dell'aspiratore è formata da quattro filtri a cartuccia, dotati di 10 m² di superficie filtrante ciascuno.

Un buon apparato filtrante è necessario per evitare che la polvere ed eventuali trucioli di materiali attraverso l'unità vacuum, rischiando un potenziale guasto e le emissioni di polveri dannose nell'ambiente.

Una superficie totale di 40 m² permette di diminuire di gran lunga le perdite di carico causate da essi.

Il sistema di pulizia

Al fine di ridurre le perdite di carico causate dallo sporco che si deposita sull'unità filtrante, è stato installato un sistema di pulizia a controcorrente d'aria.

Esso utilizza un sistema pneumatico, dotato di serbatoi di accumulo di aria compressa, che attraverso delle elettrovalvole posizionate sopra ogni cartuccia scaricano un getto di aria compressa, aprendosi in modo alternato e liberando le cartucce dalle impurità che si erano depositate al di sopra di esse.

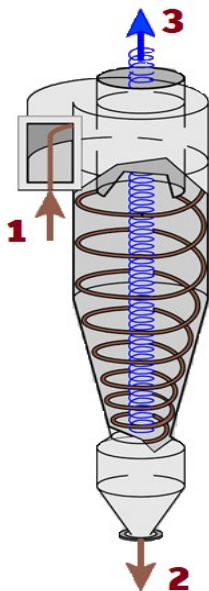
6.5 Il ciclone

I macchinari che lavorano PCB producono un truciolo di dimensioni molto piccole, principalmente composto da polvere e delle piccole spirali.

Per evitare quindi che lo scarto vada direttamente alla macchina, sporcando l'unità filtrante e danneggiandola viene utilizzato un ciclone.

Il ciclone è un componente utilizzato per separare lo sporco e le impurità del materiale aspirato utilizzando il principio della centrifugazione. Esso ha una struttura formata da una parte conica inferiore che tende a stringersi ed una parte cilindrica superiore.

Nella parte superiore è posizionato un ingresso tangenziale (ovvero tangente al cilindro) dove entra il materiale aspirato e un'uscita superiore dove passa l'aria diretta all'unità aspirante (come nella figura che segue).



Il materiale aspirato entra tangente al corpo cilindrico con alta velocità (1).

A causa della velocità di rotazione, la forza centrifuga spinge le particelle di polvere, il truciolo e altre impurità verso le pareti del contenitore, facendogli perdere energia a causa dell'attrito con la parete fino a farli depositare (2), mentre l'aria pulita, priva di grosse particelle prosegue verso l'unità aspirante (3).

Per scaricare il materiale depositato in modo continuo è stata invece utilizzata una rotovalvola.

6.6 Scarico: la rotovalvola

Lo scarico continuo è garantito attraverso una rotovalvola.

Essa è composta da un corpo contenente un disco interno dotato di cavità, collegato ad un albero rotante, che permette attraverso la sua rotazione di far cadere il materiale depositato al di sopra di esso all'interno di un big bag, mantenendo il sistema stagno e non facendo entrare aria.



Il modello della rotovalvola utilizzata è RV05 di Torex da 0,55 kW, in grado di scaricare 5,4 litri ogni rotazione, che considerando 20 rpm (rotazioni per minuto) corrispondono a circa 6,5 m³ di materiale all'ora.

6.7 Dimensionamento delle tubazioni

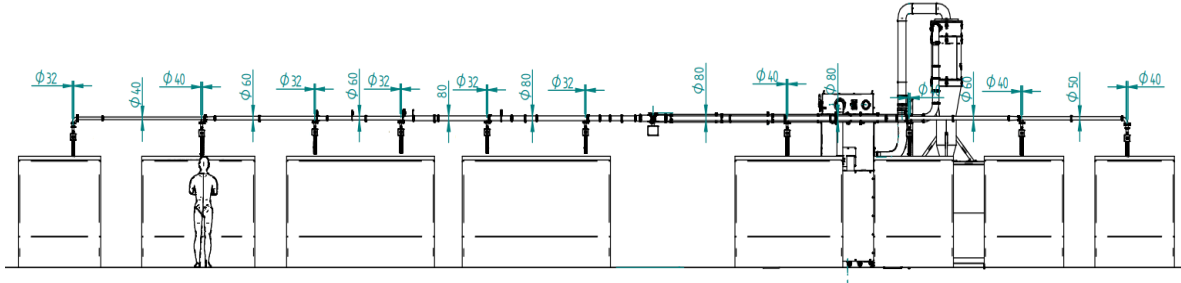
Il dimensionamento delle tubazioni è stato eseguito utilizzando il foglio di calcolo Excel contenente il know-how dell'azienda.

Le tubazioni sono state progettate in modo da ottenere buone velocità in tutto l'impianto, e bilanciando al meglio le calate.

Il bilanciamento di un impianto aeraulico consiste nel regolare le portate d'aria in modo che ogni calata aspiri in modo uniforme alle altre, evitando zone di sovraccarico o di insufficienza.

Per permettere ciò è necessario quindi prendere come riferimento le perdite della calata più sfavorita, dove nella maggior parte delle casistiche la più sfavorita è la più lontana o quella con un diametro di dimensioni inferiori (nel caso in cui i diametri abbiano differenze importanti), e fare in modo che le calate rimanenti abbiano anch'esse delle perdite simili.

Al fine di avere quindi perdite simili per ogni calata sono stati utilizzati diametri sottodimensionati in alcuni punti, per avere più velocità e quindi più perdite, e viceversa sovradimensionati in altre zone, per ridurre le perdite di carico.



Come da figura sopra le tubazioni hanno quindi una struttura che partendo dalle calate più lontane per ogni diramazione con diametri contenuti ($\phi 40$ mm e $\phi 50$ mm), vanno poi ad aumentare progressivamente di dimensione fino ad arrivare ad un $\phi 120$ all'unione delle due diramazioni.

7. Il quadro elettrico

L'aspiratore è dotato di un quadro elettrico che per questioni di modularità e standardizzazione del telaio, è stato realizzato in due parti distinte contenute in due custodie montate sui fianchi della macchina, che per semplicità verranno trattate come un quadro unico, dal momento che sono comunicanti tra loro e alimentati dalla stessa presa, le due parti verranno definite come:

-Quadro Master: è il quadro dedicato al controllo dell'aspiratore, al suo interno sono contenute le protezioni per le sovracorrenti, il PLC, l'HMI (montato esternamente sullo sportello del quadro), i controlli fisici (ausiliari, fungo di emergenza).

-Quadro Slave: è il quadro dedicato all'alloggiamento dell'inverter che ne consente la protezione e il corretto raffreddamento, comunica con il primo quadro (prendendone anche l'alimentazione) ed alimenta la soffiante a canale laterale.

7.1 Alimentazione del quadro

L'alimentazione dell'aspiratore avviene utilizzando una spina a 5 poli (3 conduttori + neutro + PE), 63 A.



Esempio di una spina 5 poli da 63 A.

Il cavo utilizzato è quindi un 5 poli (L1+L2+L3+N+PE).

Partendo dalla potenza della macchina e sapendo che essa sarà alimentata a 400 V/ 50 Hz trifase, e la corrente nominale è composta dalla somma delle correnti dei dispositivi installati, ovvero:

-Soffiante a canale laterale: 37 A

-Alimentatore switching 400V AC/ 24 DC: 5 A

-Rotovalvola: 1,5 A

Il totale sarà quindi di 43,5 A.

Sapendo queste tre informazioni è possibile attraverso la seguente tabella trovare la sezione del cavo:

Cavi multipolari																			
Riferimento tipo di posa	Isolante	n° conduttori attivi	Sezione nominale mm ²																
			1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
1Multip	PVC	2	-	14	18,5	25	32	43	57	75	92	110	139	167	192	219	248	291	334
		3	-	13	17,5	23	29	39	52	68	83	99	125	150	172	196	223	261	298
	EPR	2	-	18,5	25	33	42	57	76	99	121	145	183	220	253	290	329	386	442
		3	-	16,5	22	30	38	51	68	89	109	130	164	197	227	259	295	346	396
2Multip	PVC	2	13,5	16,5	23	30	38	52	69	90	111	133	168	201	232	258	294	344	394
		3	12	15	20	27	34	46	62	80	99	118	149	179	206	225	255	297	339
	EPR	2	17	22	30	40	51	69	91	119	146	175	221	265	305	334	384	459	532
		3	15	19,5	26	35	44	60	80	105	128	154	194	233	268	300	340	398	455
3Multip	PVC	2	15	22	30	40	51	70	94	119	148	180	232	282	328	379	434	514	593
		3	13,6	18,5	25	34	43	60	80	101	126	153	196	238	276	319	364	430	497
	EPR	2	19	26	36	49	63	86	115	149	185	225	289	352	410	473	542	641	741
		3	17	23	32	42	54	75	100	127	158	190	246	298	346	399	456	538	621
4Multip	PVC	2	15	19,5	27	36	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	530
		3	13,5	17,5	24	32	41	57	76	96	119	144	184	223	259	299	341	403	464
	EPR	2	19	24	33	45	58	80	107	138	171	209	269	328	382	441	506	599	693
		3	17	22	30	40	52	71	96	119	147	179	229	278	322	371	424	500	576

Considerando che verrà utilizzato un cavo multipolare, in EPR, con 3 conduttori attivi è possibile verificare che la sezione minima è di 10 mm², dato che la portata del cavo è di 51 A e quindi soddisfa il requisito:

$$I_b < I_z$$

Dove:

- I_b è la corrente nominale d'utilizzo [A]
- I_z è la portata del cavo scelto [A]

Non resta che verificare che la caduta di tensione non superi il 4%, utilizzando la seguente formula:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot (R_L \cdot \cos \phi + X_L \cdot \sin \phi)}{1000}$$

Dove:

- ΔV è la caduta di tensione in volt (V)

- I è la corrente in ampere (A)
- L è la lunghezza della linea in metri (m)
- R_L è la resistenza della linea in ohm per chilometro (Ω/km)
- X_L è la reattanza della linea in ohm per chilometro (Ω/km)
- $\cos \rho$ è il fattore di potenza dell'impianto, stimato in modo peggiorativo (0,85)
- $\sin \rho$ è derivabile da $\cos \rho$, ($\sin \rho = \sqrt{1 - \cos^2 \rho} = \sqrt{1 - 0,85^2} = 0,53$)

I valori di R_L e di X_L è possibile ricavarli dalla seguente tabella estratta dalla Norma CEI UNEL 35023, riferita ai cavi in EPR.

Sezione nominale	Cavi unipolari	Cavi tripolari	Cavi unipolari	Cavi tripolari
	Resistenza R a 90°C		Reattanza X (vedi articolo 3)	
	Corrente continua	Corrente alternata		
mm ²	Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km
1,5	16,96		0,144	0,1
2,5	10,17		0,132	0,094
4	6,31		0,122	0,087
6	4,21		0,114	0,083
10	2,44		0,105	0,078
16	1,54		0,098	0,075
25	0,99		0,093	0,074
35	0,71		0,089	0,072
50	0,49		0,085	0,071
70	0,35		0,084	0,07
95	0,26		0,083	0,069
120	0,21		0,08	0,069
150	0,16	0,17	0,08	0,069
185	0,14	0,14	0,08	0,069
240	0,1	0,11	0,078	0,069
300	0,082	0,085	0,076	0,068
400	0,06	0,067	0,076	0,068
500	0,047	0,053	0,074	
630	0,036	0,043	0,073	

Sapendo che la sezione del cavo utilizzato è di 10 mm², il cavo è tripolare è possibile ricavare che:

- R_L è 2,44 Ω /km

- X_L è 0,078 Ω /km

Sostituendo i valori nella formula mostrata in precedenza è possibile ricavare il valore della caduta di tensione:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 43,5 \cdot (2,44 \cdot 0,85 + 0,078 \cdot 0,53)}{1000} = 1,58 \text{ V}$$

Ottenuto il valore di caduta di tensione, e sapendo che la massima caduta di tensione ammissibile è di 16 V (il 4% di 400 V), è possibile confermare che la sezione di 10 mm² è idonea alla nostra applicazione poiché inferiore a 16 V.

7.2 Caratteristiche meccaniche del quadro

I quadri elettrici utilizzati sono stati prodotti utilizzando la stessa scatola, qui di seguito le caratteristiche tecniche:

-Materiale: Lamiera d'acciaio

-Dimensioni: 700mm x 500mm x 250mm

-Grado di protezione: IP66

-Colore: RAL 7035

-Grado di resistenza all'urto: IK10

-Normative di riferimento: EN 60529, IEC EN 62208

7.3 Messa a terra dell'impianto

La messa a terra ha il compito di proteggere gli utenti da rischi di folgorazione e lo fa realizzando un contatto elettrico efficiente tra il terreno e parti dell'impianto elettrico che normalmente non sono in tensione ma che, per guasti o anomalie, possono diventare elettricamente attive. In altre parole, la messa a terra porta gli elementi metallici al potenziale elettrico del terreno, evitando che possano trovarsi in tensione tra loro, oppure con la terra.

L'impianto di aspirazione si appoggia all'impianto di messa a terra del cliente, attraverso il conduttore PE presente nella spina.

La normativa seguita è il Decreto Legislativo 81/2008 (Testo Unico sulla Sicurezza sul Lavoro), in particolare gli articoli riguardanti la sicurezza delle apparecchiature elettriche e la protezione contro le scosse elettriche.

Protezione antistatica

Ogni punto dell'impianto di aspirazione che ha il rischio di formazione di cariche elettrostatiche durante l'aspirazione, è stato messo a terra, comprese tutte le tubazioni. Questi collegamenti sono fondamentali per la sicurezza, poiché le scariche elettrostatiche potrebbero innescare scintille e di conseguenza provocare incendi o danni ai dispositivi elettronici. Il collegamento a terra aiuta a mantenere l'efficienza del sistema di aspirazione, riducendo il rischio di ostruzioni causate da accumuli di polvere elettricamente carica.

8. Componenti principali del quadro elettrico

Un quadro elettrico è composto da diversi elementi, ciascuno con funzioni specifiche, di seguito verranno approfonditi i componenti utilizzati.

8.1 Sezionatore

Come interruttore generale del quadro è stato utilizzato un sezionatore di ABB modello EE2620 con le seguenti caratteristiche:

- Tensione nominale di impiego: fino 750 V
- Rigidità dielettrica 50 Hz 1 min: 6 kV
- Corrente nominale di impiego: 80 A
- Potenza nominale di impiego: 30 kW
- Capacità di apertura: 440 A
- Montaggio: su barra DIN



Sezionatore ABB modello EE2620

Il termine sezionatore si riferisce a un dispositivo utilizzato principalmente in ambito elettrico per isolare una parte di un circuito elettrico, permettendo così interventi di manutenzione o di controllo in sicurezza. Nonostante esistano diversi tipi di sezionatori, il principio base è sempre lo stesso: interrompere il flusso di corrente in un circuito, mettendo al sicuro l'operatore nel caso di manutenzione.

Per permettere l'utilizzo del sezionatore anche a quadro chiuso è stato utilizzato un albero aggiuntivo collegato ad una manopola rotativa, componente standard ABB.

8.2 Fusibili

Per avere una protezione dalle sovracorrenti sono stati installati dei fusibili.

Essi hanno il compito di interrompere il flusso di corrente in un circuito quando la corrente supera un valore critico. Questo aiuta a proteggere i componenti elettrici e a prevenire incendi.

Nella nostra applicazione sono stati utilizzati dei fusibili a cartuccia.

Questi fusibili sono contenuti in un involucro cilindrico e possono essere facilmente sostituiti. Sono comunemente usati in applicazioni domestiche e industriali.

Il loro funzionamento avviene attraverso un filamento di materiale conduttore, progettato per fondere a una temperatura specifica, ed interrompendo il circuito (qui di seguito una foto illustrativa).

Quando uno di questi interviene poi deve essere sostituito con uno nuovo.

Sono montanti all'interno di portafusibili appositi.

Il loro punto di forza sta nella semplicità di montaggio, sostituzione ed il prezzo accessibile.



8.3 Interruttore automatico

Nel quadro l'interruttore automatico è utilizzato come dispositivo di protezione per la rotovalvola.

Chiamato nel linguaggio comune interruttore magnetotermico o salvamotore, è un dispositivo utilizzato per proteggere un circuito elettrico da sovraccarichi o cortocircuiti.

Protezione termica

La protezione termica rileva continuamente la corrente che scorre nel circuito del motore.

Essa non scatta immediatamente, è progettata per considerare il tempo di sovraccarico.

I motori possono tollerare picchi di corrente per brevi periodi (ad esempio, durante

l'avviamento).

Per questo motivo, utilizza un fattore di tempo per decidere se il sovraccarico è persistente. L'interruttore utilizza un elemento chiamato bimetallo oppure un termistore. Quando la corrente aumenta, questo elemento si riscalda a causa della resistenza elettrica. Il calore generato fa piegare il bimetallo (o varia la resistenza del termistore) in modo che attivi un interruttore.

Se la corrente rimane elevata per un tempo predefinito, il bimetallo si piega sufficientemente per chiudere un contatto che interrompe il circuito. Questo arresta il funzionamento del motore, proteggendolo dal surriscaldamento.

Protezione magnetica

La protezione magnetica monitora anch'essa continuamente la corrente che passa attraverso il circuito. In caso di un aumento improvviso della corrente (tipico nei cortocircuiti), il sistema deve reagire rapidamente.

Essa utilizza un relè magnetico, che è un dispositivo elettromeccanico. Quando la corrente supera un valore predeterminato (valore di soglia), un campo magnetico si genera con forza proporzionale all'aumento di corrente.

Nel momento in cui la corrente raggiunge il livello critico, il campo magnetico diventa abbastanza forte da azionare un meccanismo di scatto, in questo caso il nostro interruttore. Questo scatto è progettato per avvenire in modo quasi istantaneo, spesso in millisecondi, aprendo il contatto elettrico e interrompendo immediatamente il flusso di corrente verso il quadro. Questo protegge il motore e le utenze da danni gravi che potrebbero verificarsi a causa di un cortocircuito, come il surriscaldamento o nel caso del motore la rottura delle bobine.

Classi di intervento

Le classi di sgancio o di intervento, come la classe 10 o 20, si riferiscono al tempo di intervento in funzione al sovraccarico e sono parte integrante delle specifiche tecniche fornite in questi standard.

In particolare, la classe 10 corrisponde a un tempo di intervento che varia in base al sovraccarico applicato, ma in generale significa che interviene dopo 10 secondi in caso di sovraccarico di 6 volte la corrente nominale.

Questa classe è progettata per applicazioni in cui i motori possono sopportare temporaneamente carichi elevati senza subire danni immediati, come nel caso di motori che avviano carichi pesanti. In questo modo, si permette una certa tolleranza ai picchi di corrente, favorendo un funzionamento più flessibile.



Illustrazione del salvamotore di Siemens modello Sirius 3RV

Nel quadro è stato utilizzato un interruttore Siemens modello 3RV2011-1CA20, per la protezione della rotovalvola, con le seguenti caratteristiche:

- Tensione di impiego (V_n): 20 ... 400 V
- Corrente di impiego valore nominale (I_n): 2,5 A
- Numero di poli: 3
- Potenza nominale di impiego ($V_n=400V$): 0,75 kW
- Frequenza d'impiego: 50/60 Hz
- Classe di intervento: CLASS10
- Potere di interruzione di cortocircuito (I_{cc}): 100 kA
- Valore di intervento corrente dello sganciatore di cortocircuito istantaneo: 33 A

8.4 Contattori

I contattori sono dispositivi utilizzati per accendere e spegnere i carichi elettrici, come motori, luci e altri dispositivi, in modo sicuro e remoto, poiché sono progettati per gestire correnti elevate.

Il funzionamento del contattore si basa su una bobina che, quando viene alimentata, genera un campo magnetico. Questo campo attira dei contatti che si chiudono, permettendo alla corrente di fluire attraverso il circuito. Quando la bobina viene disattivata, i contatti si aprono, interrompendo il flusso di corrente.

Nel quadro è stato utilizzato un contattore di Siemens, modello per 3RT2015-2BB42, per comandare la rotovalvola, azionato dal PLC.

Il contattore utilizzato è in grado di gestire carichi da massimo 3 kW.



Illustrazione del contattore Siemens modello Sirius 3RT

8.5 Relè

Con un funzionamento del tutto analogo a quello dei contattori i relè differiscono da questi ultimi per la capacità di corrente che gestiscono.

Di conseguenza vengono utilizzati principalmente per il controllo di circuiti a bassa potenza, possono gestire carichi più piccoli, solitamente fino a qualche ampere.

Nell'impianto verranno utilizzati per trasportare il segnale dei sensori di pressioni montati a bordo macchinari.

8.6 Termostato e ventilazione

Per una corretta gestione della temperatura del quadro è stato effettuato un calcolo termico, in modo da evitare surriscaldamenti, considerando anche che l'aspiratore sarà in funzione 24/7.

Come esempio di calcolo verrà preso quello del quadro slave dove è alloggiato l'inverter.

Per effettuare il calcolo della dissipazione nel periodo estivo sono stati presi in considerazione i seguenti dati:

-Volume del quadro: $V = 0,5 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 0,7 \text{ m} = 0,0875 \text{ m}^3$

-Potenza dissipata dai dispositivi all'interno del quadro: $Q_{disp} = 845 \text{ W}$

-Temperatura interna del quadro: $T_{int} = 46 \text{ }^\circ\text{C}$

-Temperatura ambiente esterno: $T_{est} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$

-Numero di ventole utilizzate: 2

-Portata d'aria ventole: $\dot{V} = 0,2334 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 2 = 0,4667 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

La potenza di raffreddamento fornita dalle ventole può essere stimata in base al flusso d'aria e alla differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno del quadro.

Prima è necessario però trovare la portata massica di aria spostata, con la seguente formula:

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho$$

Dove:

- \dot{m} è la portata massica d'aria sviluppata dalle ventole espressa in kg/s
- \dot{V} è la portata volumetrica d'aria delle ventole espressa in m³/s
- ρ è la densità dell'aria, uguale a circa 1,2 kg/s

Sostituendo i dati alla formula è possibile ricavare che:

$$\dot{m} = 0,4667 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,56 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Adesso che conosciamo la portata massica possiamo procedere con il calcolo del calore dissipato dalle ventole, con la seguente formula:

$$Q_{vent} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dove:

- Q_{vent} è la potenza dissipata dalle ventole [W]

- \dot{m} è la portata massica di aria spostata dalle ventole [kg/s]

- C_p è la capacità termica specifica dell'aria (approssimativamente 1005 J/(kg* °C))

- ΔT è la differenza tra la temperatura interna e quella esterna $T_{int} - T_{est}$ [°C]

Sostituendo alla formula i dati ricavati è possibile ottenere:

$$Q_{vent} = 0,056 \cdot 1005 \cdot 16 \cong 900 \text{ W}$$

Con il valore ottenuto è possibile verificare la relazione $Q_{vent} > Q_{disp}$, garantendo una temperatura di 46°C all'interno del quadro, adatta al funzionamento dei dispositivi contenuti nel quadro.

Il calcolo del quadro master è stato verificato allo stesso modo, con esito positivo, utilizzando una singola ventola.

Entrambi i quadri sono stati equipaggiati con un termostato e delle ventole (24 DC), due per il quadro slave e una per il quadro master.

La ventilazione parte ogni volta che la temperatura all'interno del quadro raggiunge i 40 °C.

La ventola non viene avviata ad una temperatura inferiore per evitare che i filtri posizionati sul pannello (dove entra l'aria esterna) vengano intasati velocemente, portando quindi a manutenzioni più frequenti.

8.7 Relè di monitoraggio tensione

Il controllo delle fasi è gestito attraverso un relè di monitoraggio tensione.

Il dispositivo svolge due funzioni:

- Verificare la corretta sequenza fasi, che influisce sulla direzione di rotazione dei motori.

Nel caso studiato non è prettamente necessario, dato che è presente un inverter che gestisce indipendentemente dalla sequenza fasi la direzione di rotazione del motore.

- Verificare la mancanza di una delle tre fasi.

Lo stato del relè è normalmente eccitato, e a riposo quando va in stato di trip, ovvero quando una delle sue funzioni non è verificata

Il modello utilizzato è il PMV10A440 di Lovato.

8.8 Alimentatore

L'alimentazione di tutta la componentistica a bassa tensione (PLC, HMI, ventilazione del quadro, sensoristica) è fornita da un alimentatore switching in grado di convertire una tensione 400 V trifase in una tensione 24 DC, e di erogare 5 A.



Il modello utilizzato è il S8VK-T12024 della Omron, le caratteristiche principali sono:

- Input: 380 V – 480 V AC trifase
- Output: 24 V DC
- Corrente di uscita nominale: 5A
- Rendimento: 89%

8.9 Inverter

Per comandare la soffiante a canale laterale presente sull'aspiratore è stato utilizzato un inverter della Danfoss FC-051 con potenziometro da 22 kW, con tensione di alimentazione 400 V/50 Hz, e un rendimento compreso tra il 97,9% e il 98,1%



Illustrazione dell'inverter modello FC-051 di Danfoss

8.9.1 Funzionamento

L'inverter ha il ruolo di modulare la velocità di rotazione della soffiante a canale laterale. Per fare ciò converte in corrente continua (CC) l'alimentazione della linea trifase (CA), utilizzando un ponte di diodi (raddrizzatore).

La tensione continua prodotta dal raddrizzamento è solitamente "ondulata", cioè non costante.

Viene quindi stabilizzata, e una volta fatto ciò utilizza dei transistor ad alta velocità (spesso IGBT, Insulated-Gate Bipolar Transistor), provvedono a invertire nuovamente la tensione da continua ad alternata.

Il processo di "inversione" avviene tramite una modulazione a larghezza di impulso (PWM). La modulazione PWM regola la frequenza e la tensione della corrente trifase in uscita.

Vengono generate quindi tre onde sfasate tra di loro di 120°, tramite impulsi di tensione che imitano onde sinusoidali.

Questo processo di inversione permette di ottenere la corrente alternata trifase necessaria per alimentare il motore.

In questo modo variando quindi la tensione e la frequenza della trifase generata è possibile variare la velocità di rotazione del motore

Per calcolare la velocità del motore è possibile utilizzare la seguente formula:

$$N_s = 2 \cdot \frac{60 \cdot f}{p}$$

Dove:

- N_s è la velocità sincrona del motore, espressa in giri/min
- f è la frequenza di alimentazione del motore [Hz]
- p è il numero di poli del motore, due per ogni coppia

La velocità risulterà sempre leggermente inferiore a quella calcolata, considerando lo scorrimento del motore sempre inferiore a 1.

Nel caso studiato la regolazione di frequenza andrà da un minimo di 20 Hz ad un massimo di 65 Hz.

Collegamento al motore

L'inverter genera un segnale in potenza con alto contenuto armonico e se il cavo non fosse schermato sarebbe fonte di importanti disturbi elettromagnetici irradiati che potrebbero accoppiarsi con circuiti di altri dispositivi elettronici causandone quindi interferenze e malfunzionamenti.

La schermatura consente, partendo dal concetto di gabbia di Faraday, di contenere e bloccare verso l'esterno l'emissione elettromagnetica garantendo quindi la conformità alla Direttiva EMC (2014/30/UE) che stabilisce i requisiti di compatibilità elettromagnetica per dispositivi e apparecchiature.

Essa non obbliga esplicitamente l'uso di cavi schermati, ma richiede che le apparecchiature non emettano disturbi elettromagnetici oltre certi limiti e siano resistenti agli stessi.

Il collegamento dell'inverter al motore è stato eseguito utilizzando un cavo schermato 4G10, in accordo con la manualistica del dispositivo.

La lunghezza del cavo motore è di circa 2 metri, che rispetta le condizioni del costruttore, che dichiara una lunghezza massima possibile di 15 m.

Protezione dai sovraccarichi integrati

L'inverter garantisce al motore una protezione dai sovraccarichi, interrompendone l'alimentazione nel momento in cui rileva, attraverso un monitoraggio continuo, che la potenza erogata è al di sopra della soglia massima.

Nonostante ciò, a monte dell'inverter sono stati previsti dei fusibili, come consigliato nella documentazione dell'inverter stesso, per avere una corretta protezione del dispositivo.

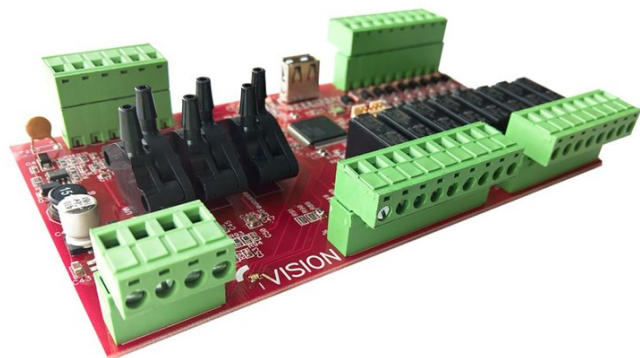
9. Dispositivi di controllo e segnalazione

Introdotta quella che è la componentistica che si occupa della gestione della sicurezza del quadro a livello elettrico e termico, è possibile proseguire con tutta la serie di dispositivi che rendono l'aspiratore "intelligente".

9.1 PLC

Come già introdotto in precedenza il PLC utilizzato è una scheda custom costruita per venire in contro le esigenze dell'azienda.

Un PLC (Programmable Logic Controller) è un dispositivo elettronico utilizzato per automatizzare processi industriali. È programmabile, il che significa che può essere configurato per eseguire una sequenza di operazioni logiche e di controllo in base agli



input ricevuti da sensori e altri dispositivi, e inviare segnali di uscita ad attuatori come valvole e contattori. Grazie alla sua robustezza e versatilità, il PLC è ampiamente utilizzato in ambienti industriali per il controllo di macchinari complessi.

Il PLC Custom utilizzato viene definito anche come sistema embedded, ovvero dove gli apparati hardware e software sono progettati per una sola specifica applicazione e presentano, quindi, dimensioni e consumi ridotti.

Scheda tecnica:

- Alimentazione: 24 V
- 8 Ingressi digitali
- 8 Uscite digitali
- 1 Ingresso analogico
- 1 uscita analogica (0-10V)
- 3 sensori di pressione differenziali
- Comunicazione MODBUS su RS485

- Porta USB
- Microcontrollore Cortex M4 ARM
- Linguaggio di programmazione: C

9.2 Fungo di emergenza e comando rotovalvola

Il fungo di emergenza è un dispositivo di sicurezza, denominato in questo modo per la sua forma tipica, che lo rende facilmente riconoscibile.

La parte superiore del pulsante è rossa, colore universalmente associato alla sicurezza e all'emergenza, rendendolo visibile anche dalla distanza.

Il colore rosso è anche richiesto dalla norma EN 60204-1:2018 al punto 10.2.1, che riassume l'importanza della colorazione in base alla funzione del comando.

Di seguito una tabella dove sono raccolte le principali colorazioni utilizzate e le rispettive applicazioni.

COLORE	SIGNIFICATO	SPIEGAZIONE	ESEMPI DI APPLICAZIONE
Rosso	Emergenza	Azionare in caso di condizione pericolosa o emergenza	Arresto di emergenza
Giallo	Anormale	Azionare in caso di condizione anormale	Intervento per eliminare una condizione anormale Intervento per riavviare un ciclo automatico interrotto
Blu	Obbligatorio	Azionare in caso di condizione che richiede un'azione obbligatoria	Funzione di ripristino
Verde	Normale	Azionare per avviare una condizione normale	
Bianco	Nessun significato specifico	Per l'avviamento generale delle funzioni, ad eccezione dell'arresto di emergenza	Avviamento / inserzione (preferenziale) Arresto / disinserzione
Grigio			Avviamento / inserzione Arresto / disinserzione
Nero			Avviamento / inserzione Arresto / disinserzione (preferenziale)

Il fungo è collegato a un sistema di arresto che permette di interrompere l'alimentazione elettrica o disattivare le operazioni di un macchinario o di un impianto in caso di pericolo.

Nel caso studiato è utilizzato per interrompere l'alimentazione degli ausiliari, e di conseguenza tutte le funzioni potenzialmente pericolose dell'aspiratore.

La presenza del fungo di emergenza è prevista dalla norma UNI EN ISO 13850 “Sicurezza del Macchinario | Funzione di arresto di emergenza | Principi di progettazione”.



Anche il box rotovalvola è stato dotato di un fungo, in questo caso di colore nero e quindi non di emergenza, per fermare momentaneamente la rotovalvola, in modo da poter cambiare il contenitore di accumulo posizionato al di sotto di essa senza dover fermare l’aspirazione.

La scelta di un fungo è dettata dalla sua proprietà di rimanere in una posizione stabile quando viene premuto, fino a che l’utente in modo intenzionale non lo ripristina.

9.3 Pulsante blu di ripristino emergenza

Nell’impianto è stato utilizzato un pulsante blu fisico per ripristinare l’alimentazione degli ausiliari dopo l’intervento del fungo, o all’accensione del quadro.

Per rendere visibile che l’alimentazione degli ausiliari è attiva il pulsante è dotato di una spia luminosa.

La colorazione blu è indicata dalla norma EN 60204-1:2018 vista poco fa.

9.4 Interruttore di interblocco di sicurezza

L’aspiratore è dotato di una parte potenzialmente pericolosa per l’utente, ovvero la rotovalvola.

Essa per funzionare deve avere lo scarico inferiore aperto, lasciando una parte in movimento in grado di causare potenziali danni agli arti dell’utente, per questo motivo è stato utilizzato un cancello con un controllo di stato, utilizzando un interruttore di sicurezza.

L’interruttore di interblocco è stato posizionato sul cancello esterno di chiusura del box dove è presente la rotovalvola, e collegato al PLC.

In questo modo è possibile avere un riscontro sullo stato del cancello (aperto o chiuso).

Il modello del dispositivo utilizzato è il 3SE5232-0QV40 di Siemens (figura presente sulla destra).
Esso è dotato di due contatti normalmente chiusi e uno normalmente aperto, ed è alimentato a 24 V DC.



9.5 Elettrovalvole

Come introdotto in precedenza la pulizia dell'unità filtrante è svolta autonomamente da delle elettrovalvole azionate tramite il PLC.

Un'elettrovalvola è composta da:

- Corpo della valvola
- Solenoide
- Nucleo mobile

Quando un segnale elettrico viene applicato al solenoide viene creato un campo magnetico attraverso lo scorrimento della corrente all'interno dei fili di rame.

Questo campo magnetico attrae o respinge il nucleo mobile o pistone, facendo passare la valvola da uno stato "di riposo" ad uno stato "attivo".

Nel caso della valvola utilizzata nello stato attivo essa permette il passaggio di aria.

9.6 Sensore di pieno

L'aspiratore è stato dotato di un sensore di pieno per avvisare l'utente del livello di riempimento del big bag, e interrompere l'aspirazione in modo da non far fuoriuscire il materiale o danneggiare la rotovalvola.

Il sensore utilizzato è il modello UK6A/HP-1EUL di Micro Detectors (immagine sulla destra).

Esso è un sensore ultrasonico, cioè che utilizza onde sonore ad alta frequenza (ultrasuoni) per rilevare la presenza di un oggetto.

Per funzionare emette degli impulsi di onde sonore e misura il tempo che ci impiegano per tornare.

Grazie alla velocità di propagazione del suono nell'aria, il sensore può calcolare la distanza tra sé stesso e la superficie riflettente, utilizzando questa semplice formula:

$$D = \frac{V_s \cdot T_v}{2}$$

Dove:

- D è la distanza dalla superficie riflettente [m]
- V_s è la velocità di propagazione del suono [343 m/s]
- T_v è il tempo passato dall'emissione alla ricezione del suono [s]

Il sensore utilizzato ha una distanza di rilevamento che va dai 40 mm ai 300 mm, regolabile in base alle proprie esigenze.

9.7 Pressostato

Il controllo della pressione dell'accumulo di aria compressa è garantito da un pressostato collegato al circuito pneumatico.



Il modello del pressostato utilizzato è il IS10-01S-6L di SMC (immagine sulla sinistra) la sua pressione di lavoro va da 1 bar a 6 bar, con regolazione a vite.

Quando il pressostato arriva alla pressione target impostata viene inviato il segnale al PLC utilizzando una logica PNP.



9.8 Sirena

Le segnalazioni di pericoli sono richiamate attraverso l'utilizzo di una sirena alimentata a 24 V DC, opportunamente collegata al PLC.

Sono presenti tre sirene, una posizionata sulla macchina, una sull'impianto di tubazioni ed una sul box rotovalvola con funzioni specifiche per essa.

9.9 HMI

Per avere un controllo avanzato dell'aspiratore, è stato implementato un sistema di monitoraggio e gestione tramite un'interfaccia uomo-macchina (HMI) per ottimizzare l'interazione con l'apparecchiatura, garantire un funzionamento sicuro ed efficiente e permettere una gestione intuitiva e remota del dispositivo.

L'HMI, in quanto punto di contatto tra l'operatore e il sistema di controllo, ha rivestito un importante ruolo nell'implementazione e nella personalizzazione del controllo dell'aspiratore.

Architettura del sistema di controllo

Il sistema di controllo dell'aspiratore è stato progettato per essere gestito dal PLC e dall'interfaccia HMI.

Il PLC funge da "cervello" del sistema, elaborando i dati provenienti dai sensori e inviando i comandi di azione all'aspiratore.

L'HMI fornisce all'operatore un pannello di controllo grafico dove vengono visualizzati i parametri operativi dell'aspiratore (raccolti dal PLC) consentendo di monitorare in tempo reale il funzionamento del dispositivo.

Funzionalità principali dell'HMI

L'interfaccia HMI è stata configurata per eseguire una serie di funzioni chiave:

- Monitoraggio in tempo reale: l'HMI visualizza costantemente i principali parametri operativi, come la velocità di rotazione del motore, la pressione del sistema di aspirazione, lo stato dei filtri e dei sensori.
- Allarmi e notifiche: l'impianto è dotato di un sistema di allarmi visivi e sonori, che avvisa l'operatore in caso di malfunzionamenti o condizioni di lavoro non ottimali, permettendo di capire in un tempo limitato la causa dell'eventuale problema.

- Impostazioni configurabili: l'HMI offre la possibilità di configurare i parametri di funzionamento in base alle esigenze dell'utente.
Come, per esempio, regolare la pressione target, il numero di pulizie filtro, oppure regolare in modo manuale la velocità di rotazione del motore.
- Memorizzazione dati storici: l'HMI è in grado di memorizzare i dati storici relativi al funzionamento dell'aspiratore, come i cicli di accensione/spegnimento, i valori di pressione durante ciascun ciclo, le performance di aspirazione, e i periodi in cui si sono verificati allarmi e quali tipo di allarmi si sono verificati.
Questo sistema consente di avere sotto controllo gli aspiratori e valutarne lo stato, prevenendo guasti e fermi macchina.
- Controllo remoto e interconnessione: l'HMI è connesso ad una rete aziendale che consente il controllo remoto con altri HMI e la supervisione tramite PC. Ciò permette agli operatori di monitorare l'aspiratore da un'area centrale.
Inoltre, attraverso l'utilizzo di una connessione VPN è possibile l'accesso da remoto garantendo un'assistenza a distanza dal produttore.
- Backup dei dati e iVisionMonitor: Oltre alla memorizzazione l'HMI invia anche dati al server cloud di iVision in cui è presente il database che contiene lo storico dati di tutti gli aspiratori connessi.
Inoltre è possibile visualizzare questi dati attraverso iVisionMonitor, una web app multiplatforma che riporta in tempo reale dati di tutti gli aspiratori connessi in rete.
Attraverso iVisionMonitor è possibile valutare lo stato degli aspiratori (pulizia filtro, numero di accensioni, ore di utilizzo, prestazioni), prevenendo guasti e fermi macchina.

Benefici dell'utilizzo dell'HMI

L'implementazione dell'HMI per il controllo dell'aspiratore porta numerosi vantaggi, come:

- Miglioramento dell'efficienza operativa: grazie alla visibilità in tempo reale delle condizioni operative e alla possibilità di intervenire in remoto, è stato possibile ottimizzare i tempi di lavoro e ridurre i fermi macchina.
- Semplicità di manutenzione: la possibilità di visualizzare gli allarmi e i dati storici rende più semplice la diagnosi dei problemi e la pianificazione della manutenzione preventiva.
- Sicurezza e affidabilità: il monitoraggio costante delle condizioni operative contribuisce a migliorare la sicurezza complessiva del sistema, riducendo i rischi di malfunzionamenti gravi.

Weintek CMT3072X



Il modello di HMI utilizzato è il CMT3072X di Weintek, di seguito la scheda tecnica:

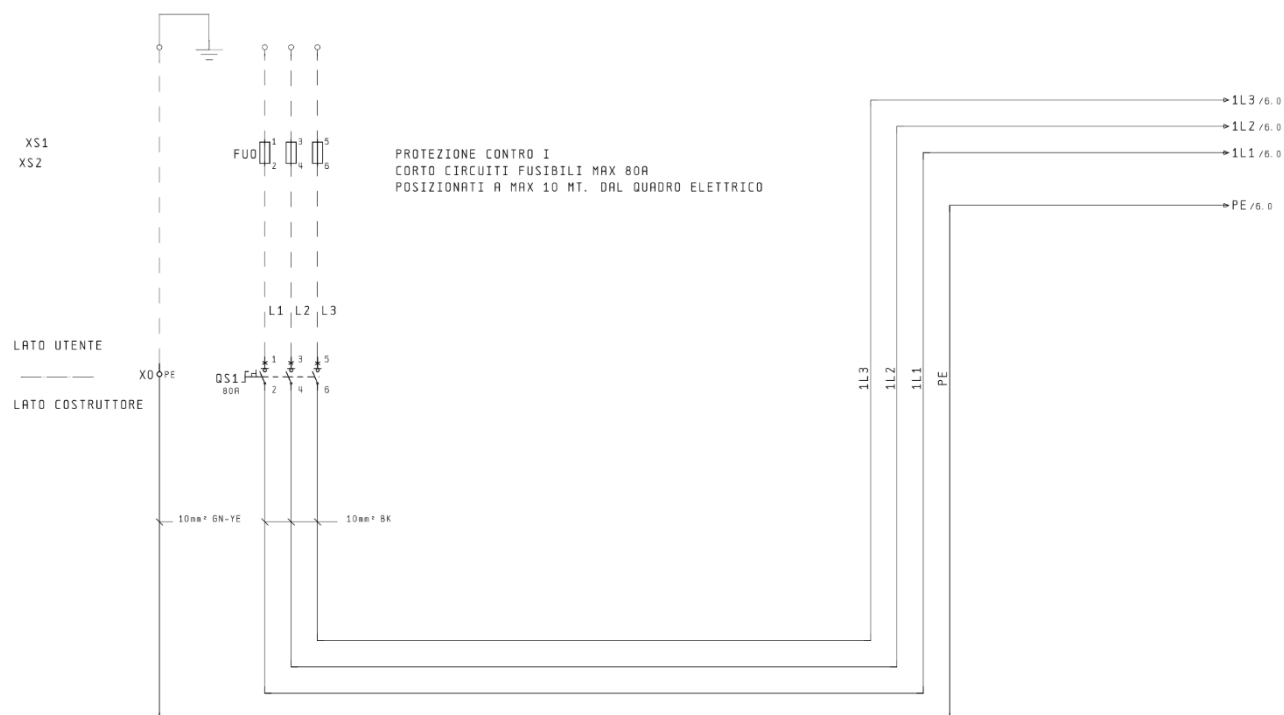
- Display TFT LCD da 7" con risoluzione di 800 x 480 e retroilluminazione a LED
- Processore Quad-core Cortex-A35 e processore 3D dedicato
- Sistema di raffreddamento senza ventola (fan-less)
- Memoria Flash integrata da 4 GB e RTC

- Interfacce COM2 / COM3 RS-485 2W, supporta MPI a 187,5K, utilizzabili una alla volta
- Supporto per Bus CAN con compatibilità per CANopen, CAN Bus 2.0A/2.0B e SAE J1939
- Isolatore di potenza integrato
- Pannello frontale conforme a NEMA4 / IP66, garantendo un'alta protezione contro polvere e acqua

10. Schema e collegamenti elettrici del quadro

Introdotta la componentistica utilizzata è possibile procedere con i collegamenti che sono stati effettuati all'interno del quadro.

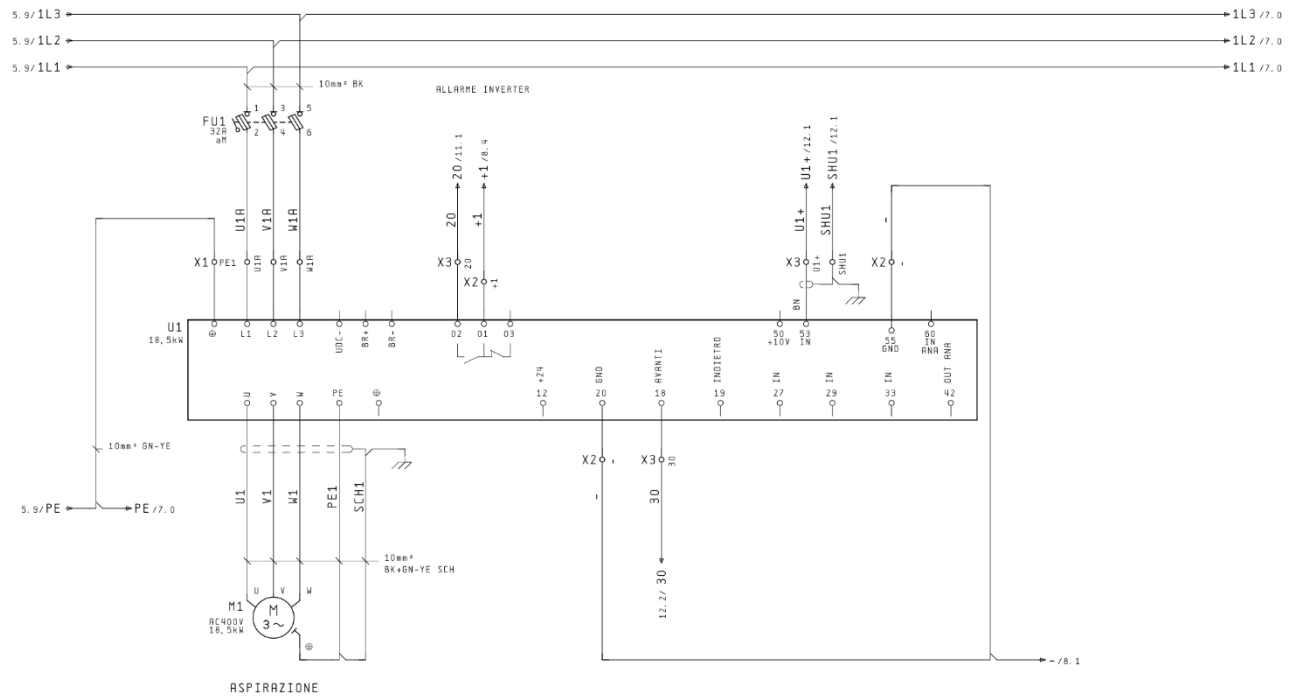
10.1 Collegamento del quadro all'alimentazione



Nella figura sopra è rappresentato il collegamento del sezionatore (QS1), che ha la funzione di interruttore generale del nostro impianto.

Per la corretta protezione dell'impianto è richiesta lato cliente un'adeguata protezione contro le sovracorrenti e con protezione verso i guasti a terra, posizionati ad una distanza massima di 10 m.

10.2 Collegamento inverter

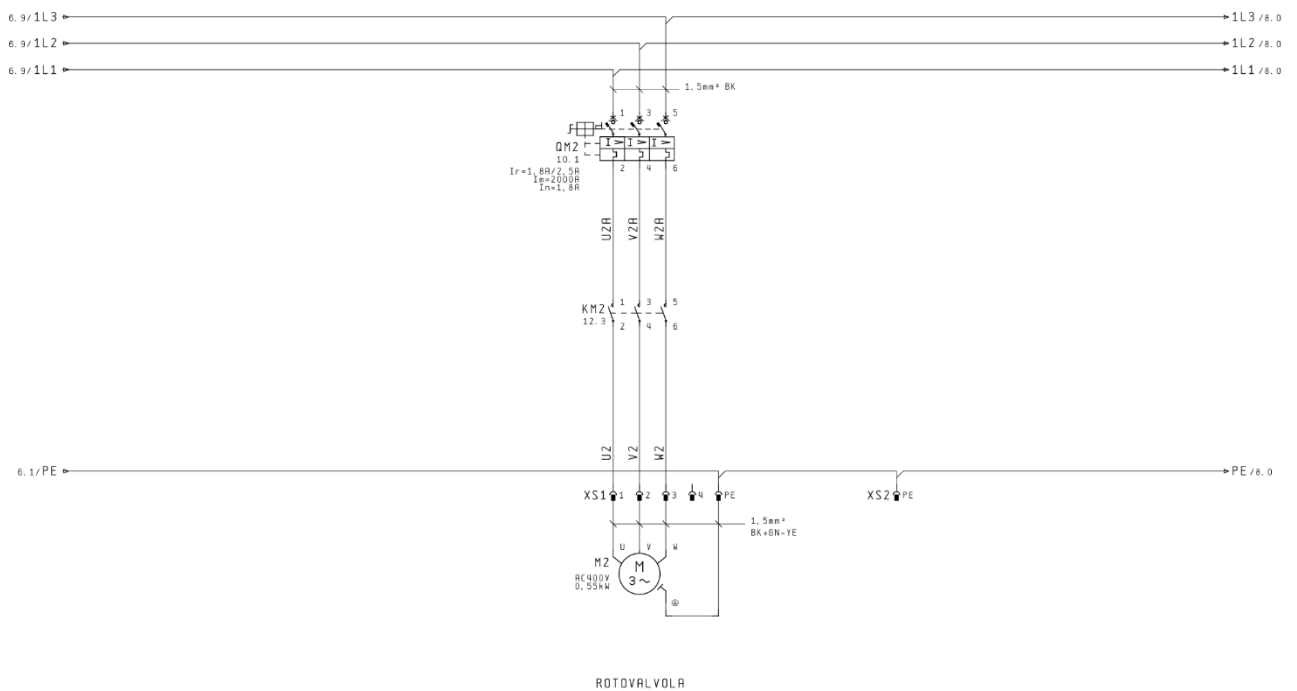


L'alimentazione del quadro slave, dove è alloggiato l'inverter (U1), è protetta da dei fusibili (FU1) compatibili con le caratteristiche richieste nella manualistica dell'inverter.

All'inverter è poi collegato:

- il motore della soffiante a canale laterale (M1)
- l'output digitale del PLC che permette l'avvio della rotazione (cavo n.30)
- l'output analogico del PLC che regola la frequenza di lavoro dell'inverter (cavo U1, con schermatura, per evitare interferenze elettromagnetiche)

10.3 Collegamento rotovalvola

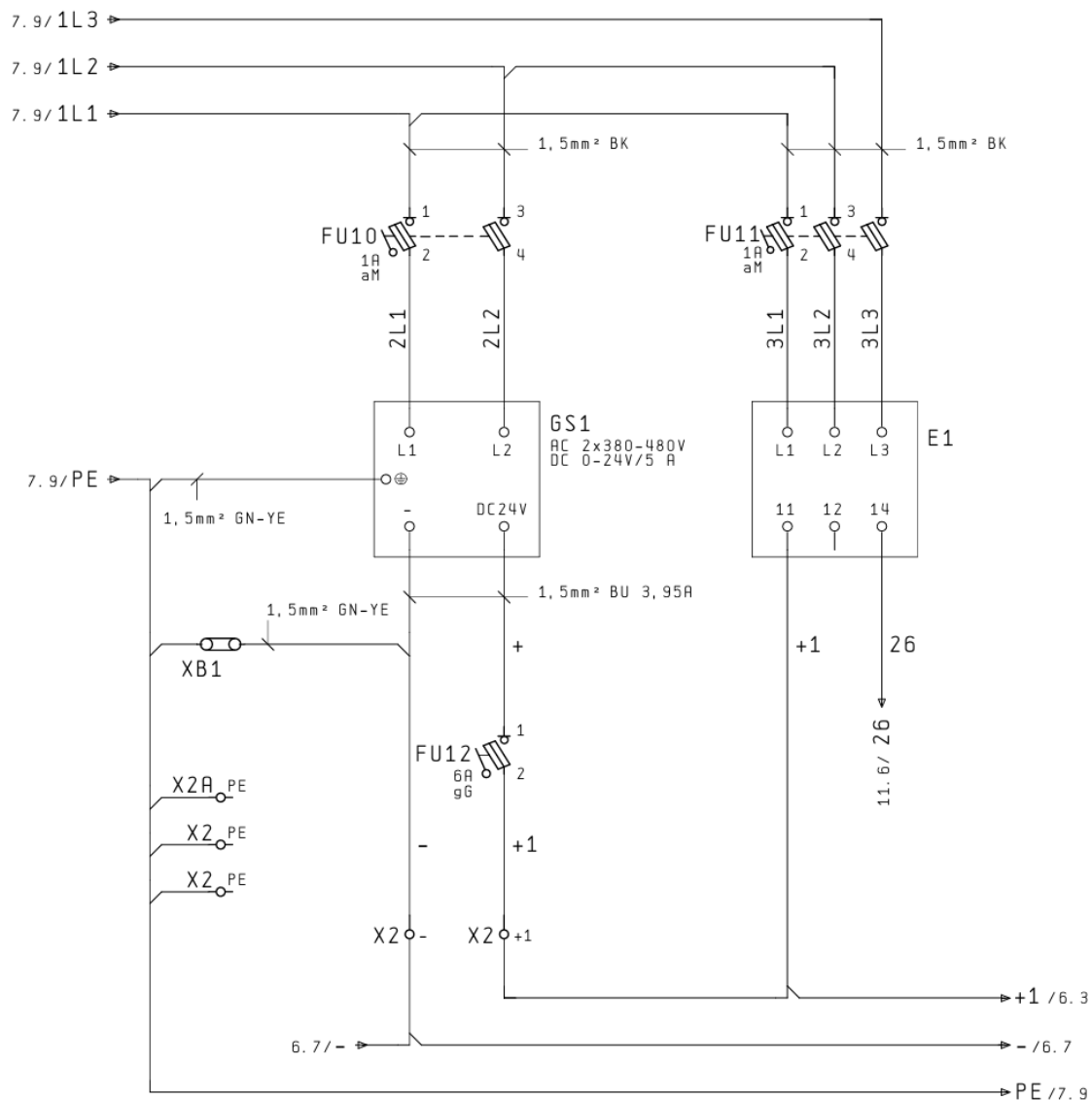


L'avvio della rotovalvola (M2) è gestito dal contattore KM2.

Per la protezione viene utilizzato un interruttore automatico QM2 (specifiche nel capitolo 8.3).

10.4 Collegamento alimentatore e relè di monitoraggio tensione

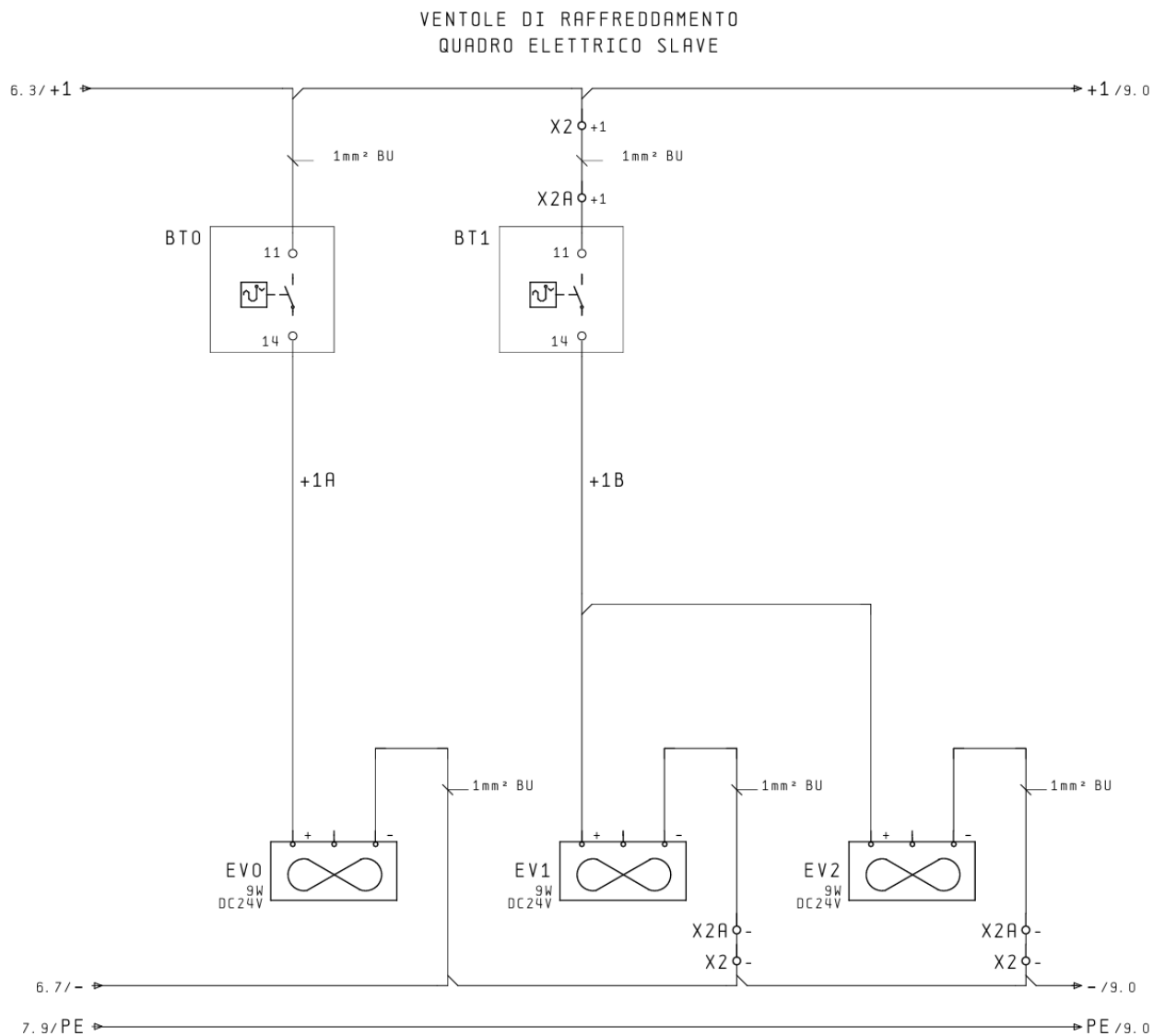
TRASFORMAZIONE AUSILIARI
AC400V/AC24V



Sulla sinistra è rappresentato il collegamento dell'alimentatore switching (GS1), a monte di esso sono presenti dei fusibili da 1 A (FU10), e inoltre è presente anche un fusibile al secondario dell'alimentatore da 6 A.

Sulla destra è presente il relè di monitoraggio tensione, anch'esso protetto a monte da dei fusibili da 1 A. Utilizzando il contatto normalmente aperto del relè di monitoraggio tensione viene inviato un segnale al PLC (cavo n.26).

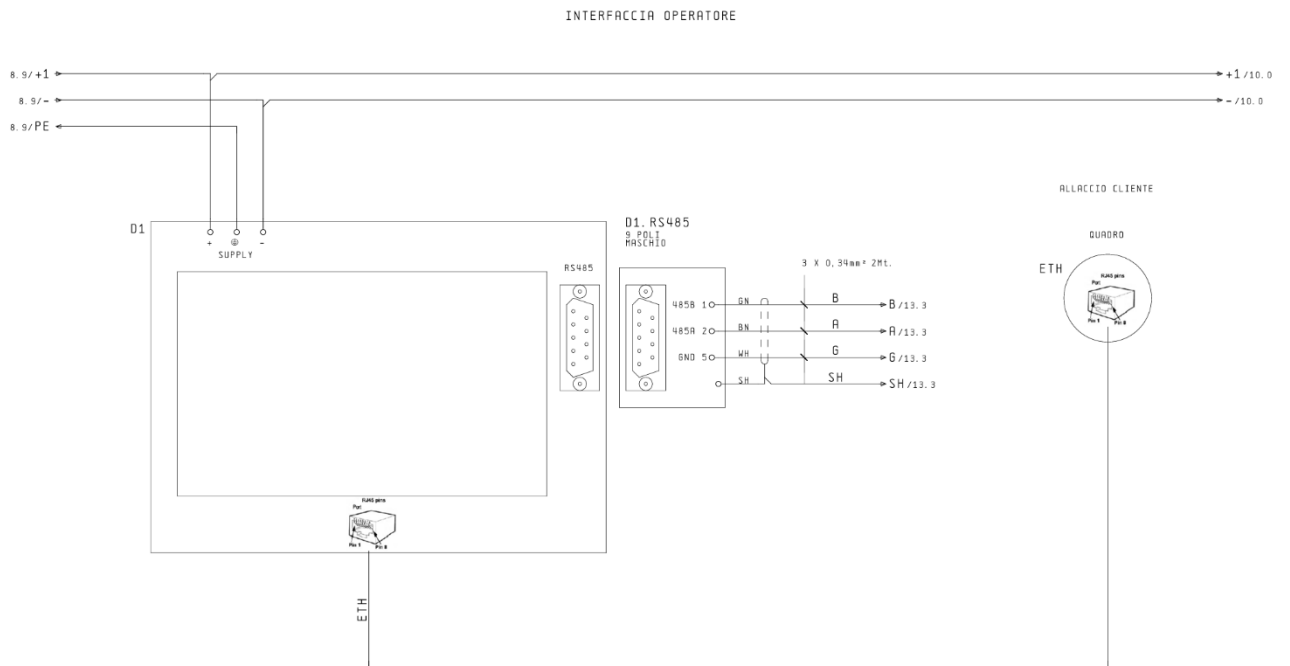
10.4 Collegamento termostato e ventilazione



Nella figura sopra è rappresentato il collegamento della ventilazione dei due quadri, comandata da due termostati alimentati a 24 DC: BT0 nel caso del quadro master e BT1 nel caso del quadro slave.

Le ventole utilizzate sono una per il quadro master (EVO) e due per il quadro slave (EV1 e EV2).

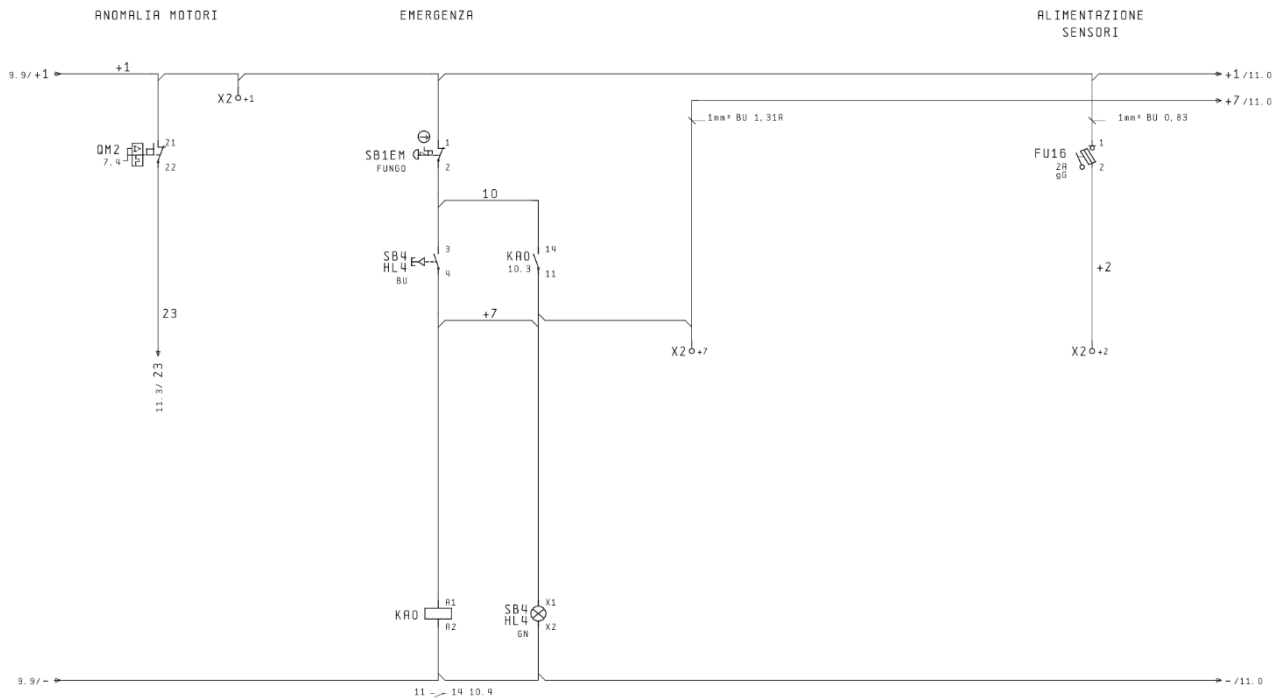
10.5 Collegamento HMI



Per il collegamento dell'HMI (D1) è stata portata l'alimentazione e un cavo proveniente dal PLC con standard di comunicazione RS485.

Il collegamento alla rete internet del sistema è poi provvisto dal cliente attraverso un cavo Ethernet.

10.6 Collegamento ausiliari e circuito sensori di pressione



Sulla sinistra è presente il consenso del salvamotore della rotovalvola (QM2) diretto al PLC (cavo n.23), utilizzando un contatto di esso normalmente chiuso.

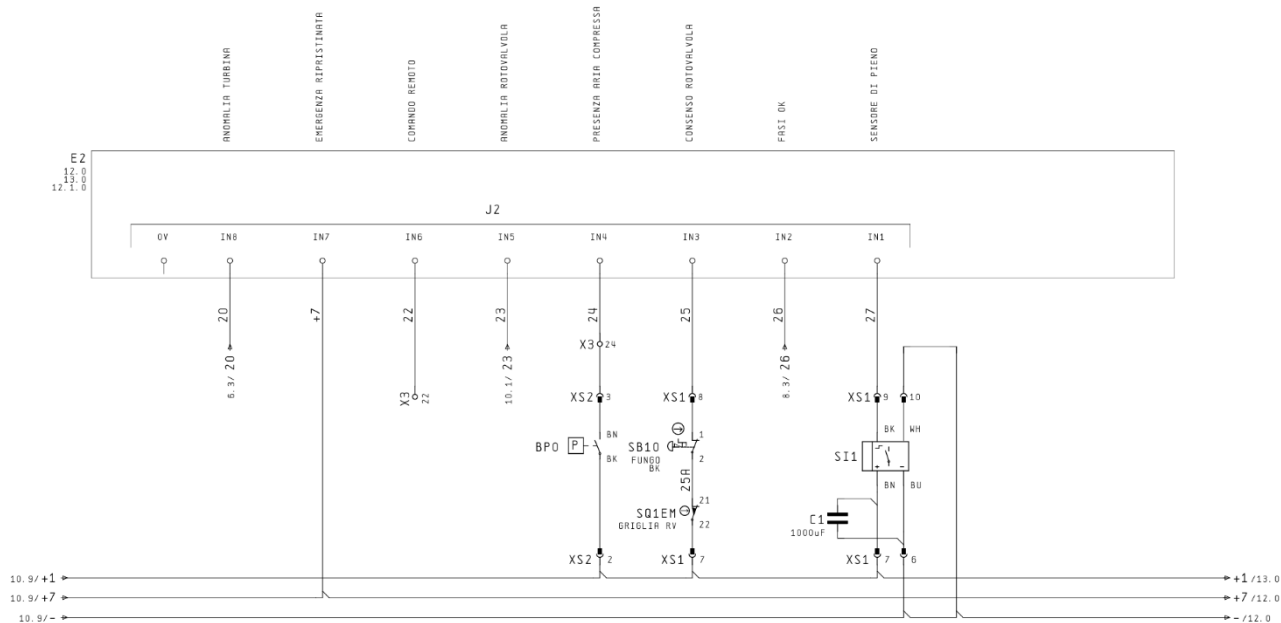
Al centro è raffigurato la logica cablata che alimenta tutti i segnali di output del PLC. L'alimentazione degli ausiliari è abilitata dal pulsante blu (SB4), che attiva un relè di appoggio (KA0).

Il relè ha poi un'auto ritenuta, eseguita utilizzando un suo contatto normalmente aperto. La sua alimentazione può essere interrotta utilizzando il fungo di emergenza (SB1EM), come indicato da norma EN ISO 13850.

Infine, sulla destra è presente l'alimentazione del circuito di sensoristica di pressione (cavo n.+2) montato sulle calate delle macchine del cliente, che verrà approfondito in seguito, il tutto protetto con un fusibile da 2 A (FU16).

10.7 Collegamento ingressi e uscite PLC

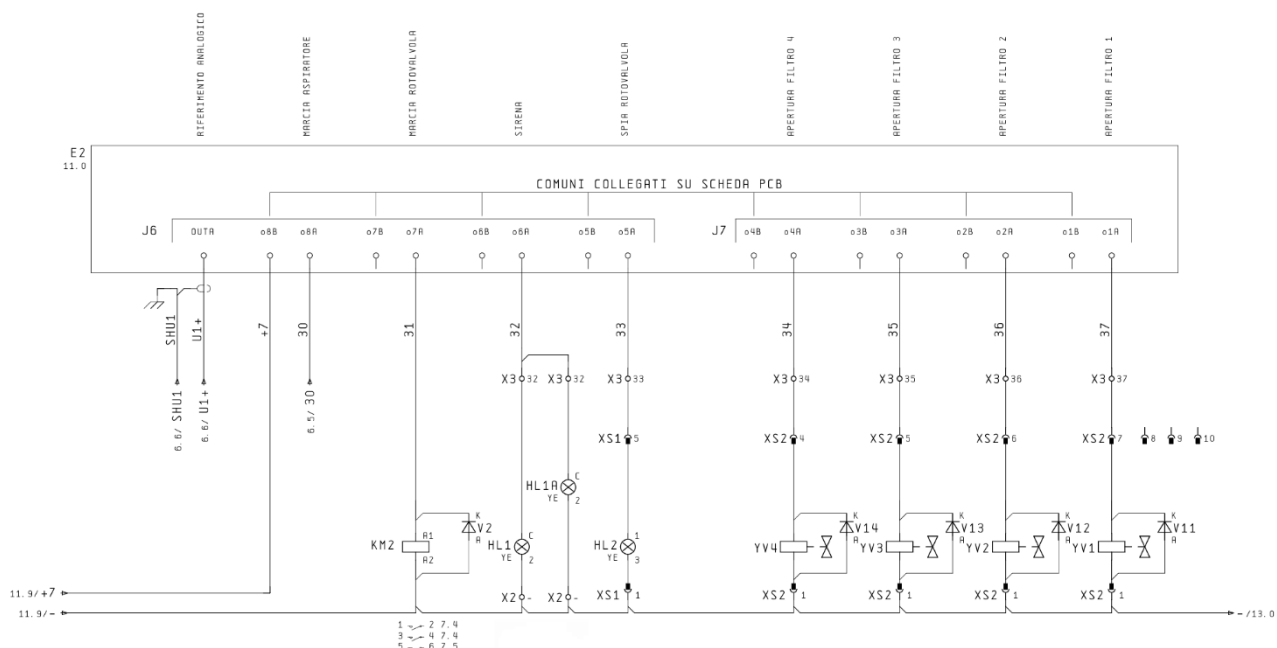
Collegamento ingressi PLC



Nello schema sopra, sono presenti tutti gli input diretti al PLC (E2), in ordine partendo da sinistra:

- cavo n.20: avviso di anomalia turbina, proveniente dall'inverter
- cavo n.+7: consenso di presenza dell'alimentazione degli ausiliari
- cavo n.22: consenso del circuito di sensoristica di pressione a bordo macchina.
- cavo n.23: anomalia della rotovalvola, proveniente dal salvamotore dedicato ad essa.
- cavo n.24: controllo di pressione d'aria del sistema, utilizzando il pressostato (BP0).
- cavo n.25: messa in sicurezza della rotovalvola, con utilizzo dell'interruttore di interblocco di sicurezza (SQ1EM) e il fungo (SB10).
- cavo n.26: consenso del relè di monitoraggio tensione.
- cavo n.27: segnale sensore di pieno (SI1), per monitorare il sistema di accumulo.

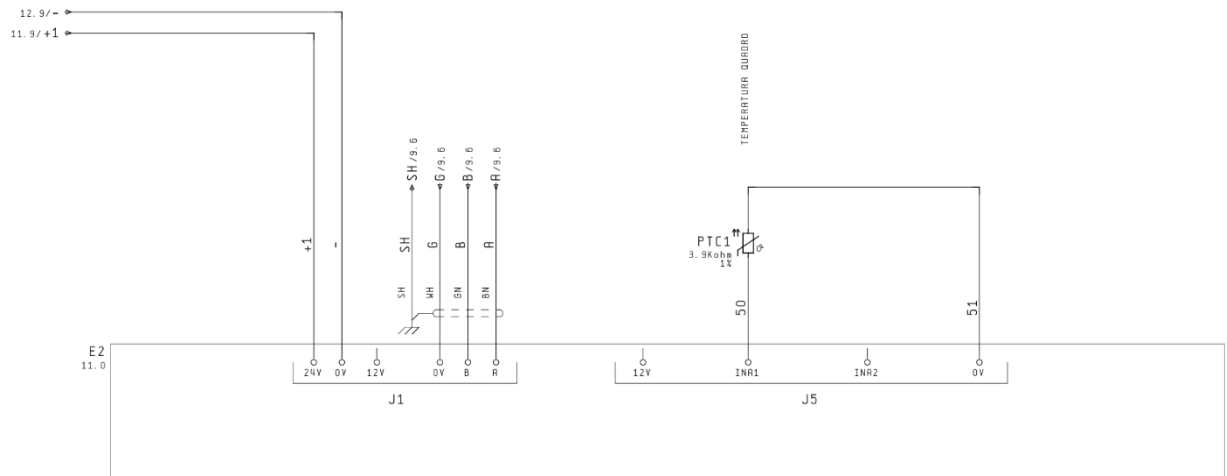
Collegamento uscite PLC



Lo schema sopra mostra tutti gli output in uscita dal PLC, in ordine partendo da sinistra:

- cavo n.U1: uscita analogica dedicata al controllo della frequenza dell'inverter
- cavo n.+7: alimentazione di tutti gli output digitali, collegamento in comune fatto su scheda PCB.
- cavo n.30: abilitazione di marcia dell'inverter
- cavo n.31: abilitazione marcia inverter attraverso il contattore KM2
- cavo n.32: accensione sirene di segnalazione (HL1 e HL1A).
- cavo n.33: sirena di segnalazione rotovalvola (HL2).
- cavo n.34: attivazione bobina dell'elettrovalvola YV4.
- cavo n.35: attivazione bobina dell'elettrovalvola YV3.
- cavo n.36: attivazione bobina dell'elettrovalvola YV2.
- cavo n.37: attivazione bobina dell'elettrovalvola YV1.

Collegamento alimentazione e segnale HMI



Sopra rappresentati i collegamenti dell'alimentazione del PLC (cavo n.+1 e cavo n.-) e il collegamento del cavo diretto all'HMI con standard di comunicazione RS485.

Inoltre, è collegato un sensore di temperatura dedicato a monitorare la temperatura del PLC.

11. Interfaccia utente

Come accennato in precedenza, è possibile programmare l'HMI utilizzando il software EasyBuilderPro.

Il software ti permette di personalizzare l'interfaccia utente con:

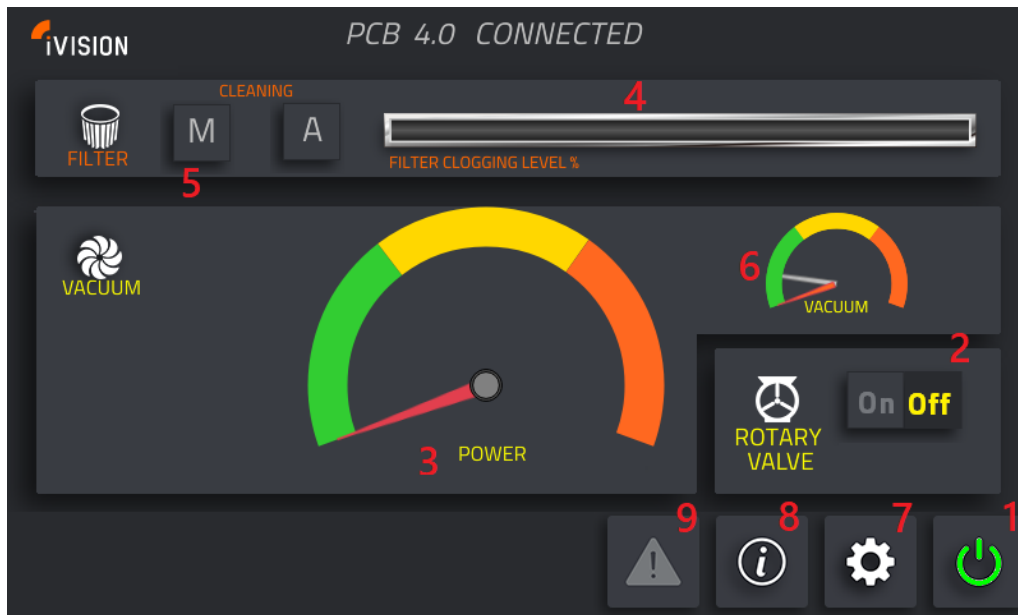
- Schermate di visualizzazione: che mostrano dati in tempo reale (come velocità di rotazione, pressione, intasamento filtri).
- Grafici e diagrammi: per visualizzare l'andamento dei dati nel tempo.
- Pulsanti, interruttori e altri controlli: che consentono all'utente di inviare comandi al PLC modificando lo stato delle variabili; alcuni dei loro utilizzi possono essere l'avvio aspirazione, la modifica di parametri di sistema, l'avvio della rotovalvola.

11.1 Schermata principale: lato utente

Schermata Home: lato manutentore

La schermata principale contiene una panoramica chiara e immediata delle principali funzioni dell'aspiratore.

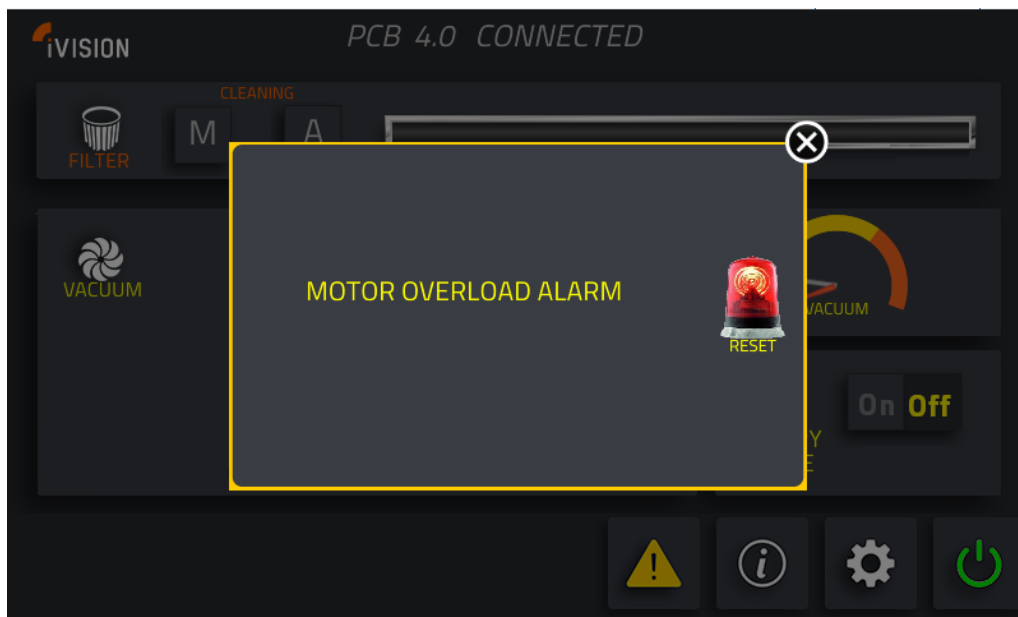
Di seguito, sono descritti i vari elementi presenti nella schermata, numerati per una comprensione più semplice.



- 1- Tenendo premuto il pulsante è possibile avviare l'aspiratore (soffiante+rotovalvola)
- 2- L'interruttore permette di avviare la rotovalvola e spegnerla senza influire sull'aspirazione (il simbolo ruota alla sua accensione).
- 3- Indica la potenza attuale utilizzata per l'aspirazione
- 4- Indica il livello di intasamento dell'unità filtrante
- 5- Indica lo stato di pulizia impostato (manuale o automatico) e lampeggia quando la pulizia è in corso.
- 6- La lancetta rossa indica la pressione raccolta sull'imbocco del ciclone, mentre la lancetta grigia indica il target impostato dall'utente.
- 7- Premendolo si entra nella parametrizzazione dell'aspiratore.
- 8- Premendolo vengono visualizzate le informazioni dell'aspiratore
- 9- Permette di visualizzare gli allarmi (se presenti)

Schermata Home: visualizzazione allarmi

L'HMI permette di visualizzare in modo semplice possibili malfunzionamenti dell'aspiratore, per fare ciò è presente una visualizzazione allarmi nella schermata home.



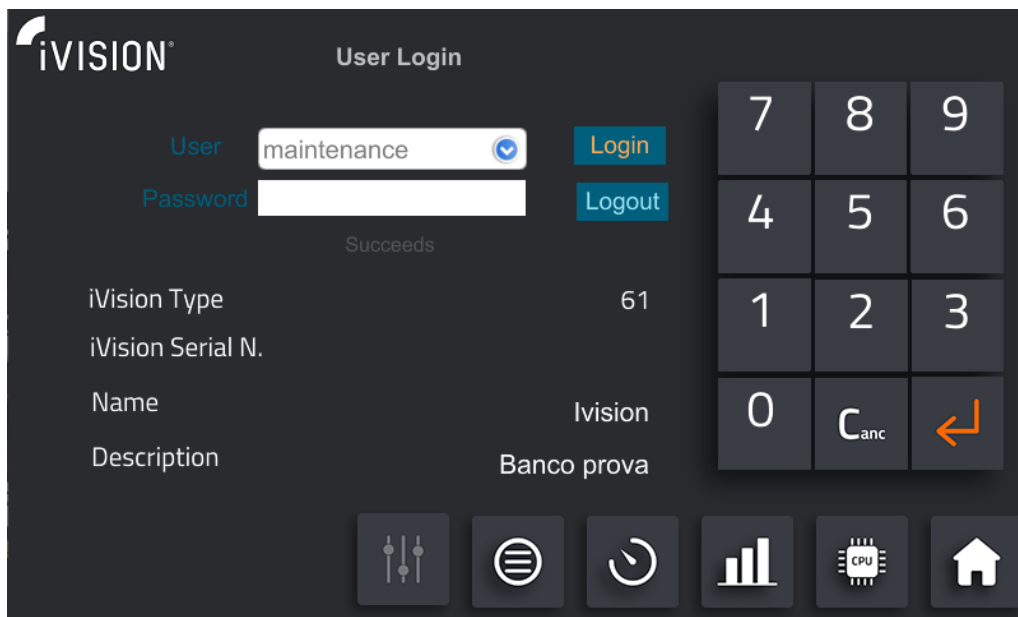
Nella schermata sopra è visualizzato un problema di sovraccarico al motore dell'unità aspirante.

Il reset può essere effettuato una volta riarmato il salvamotore (se presente), o nel momento in cui l'allarme dell'inverter è stato a sua volta resettato.

11.2 Schermata principale: lato manutentore

Per effettuare regolazioni più specifiche e che potrebbero andare a compromettere il corretto funzionamento dell'impianto è stata inserita una modalità manutentore dove, attraverso l'inserimento di una password vengono sbloccate funzioni nascoste.

Accesso alla modalità manutentore

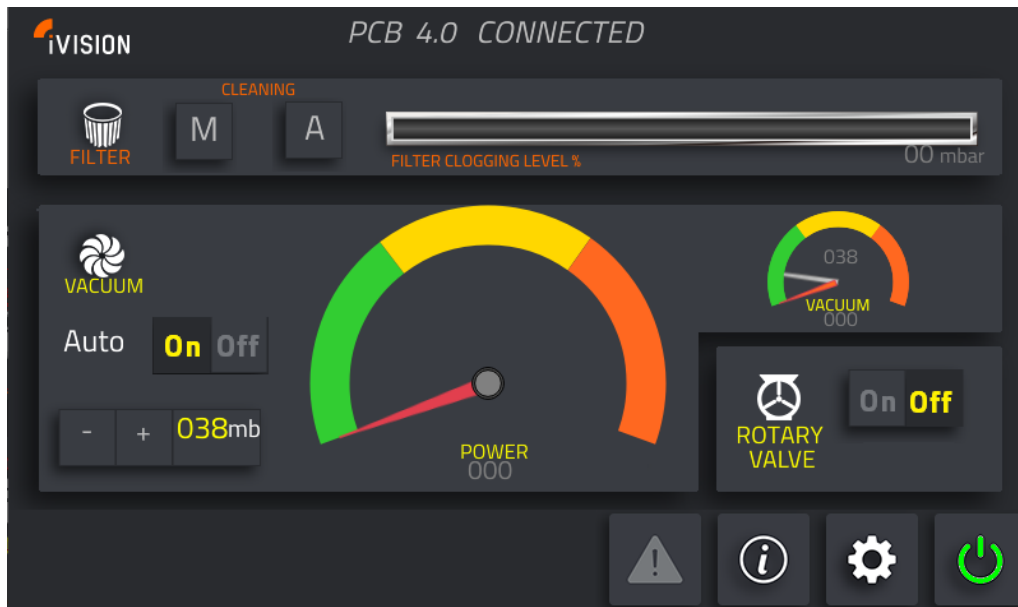


Inserendo una password nella schermata sopra rappresentata è possibile effettuare l'accesso come manutentore.

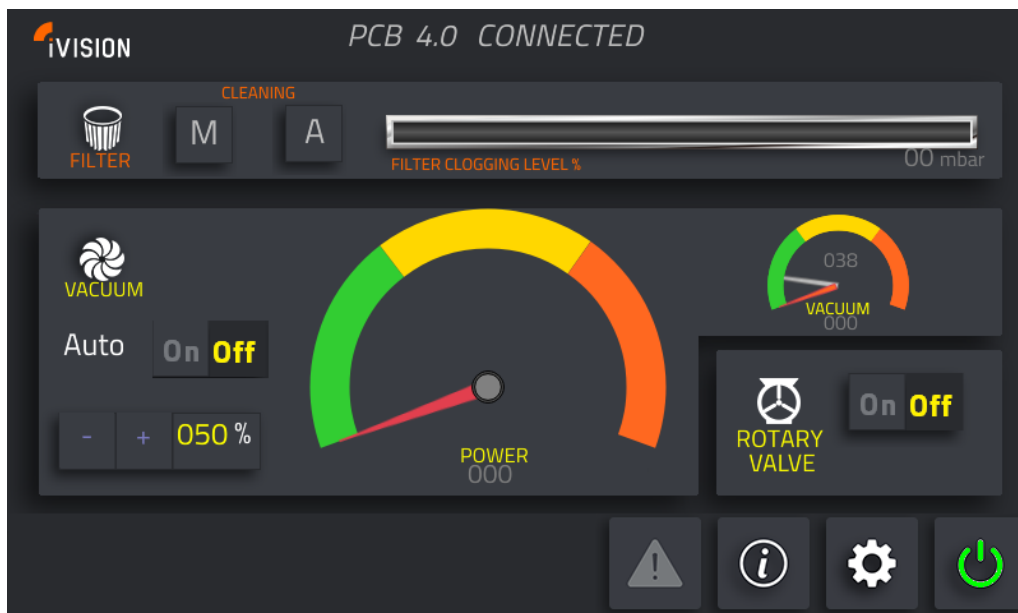
Oltre la possibilità di accedere come manutentore è presente la modalità "factory", dove sono sbloccate tutte le regolazioni, ovviamente l'accesso di quest'ultima modalità è a disposizione esclusivamente di iVision.

Schermata Home: lato manutentore

Effettuato correttamente l'accesso, è possibile visualizzare la seguente schermata principale.



A differenza della home mostrata precedentemente è possibile impostare la modalità di funzionamento (in basso a sinistra), ovvero automatica o manuale: nello scenario mostrato sopra è attiva la modalità automatica. Il valore indicato al di sotto dell'interruttore è il valore della pressione target dell'impianto.



Nella modalità manuale è possibile impostare una velocità di rotazione fissa della soffiante, non è quindi presente una regolazione automatica del sistema.

12. Regolazione automatica con controllore PID

La regolazione automatica è un processo fondamentale nell'automazione dei sistemi, dove l'obiettivo principale è mantenere una grandezza fisica (come temperatura, velocità, pressione) all'interno di un intervallo desiderato.

Il capitolo che segue introdurrà i concetti di base per capire al meglio il funzionamento dell'aspiratore.

12.1 I sistemi di controllo

Un sistema di controllo è un insieme di dispositivi o algoritmi che gestiscono, comandano o regolano il comportamento di un sistema. L'obiettivo di un sistema di controllo è far sì che una variabile di processo (nel nostro caso la pressione) raggiunga e mantenga un valore desiderato, anche in presenza di disturbi esterni o variazioni nei parametri del sistema.

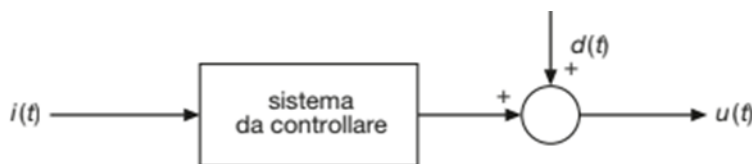
12.2 Controllo ad anello aperto e ad anello chiuso

I sistemi di controllo possono essere di due tipi, ad anello aperto e ad anello chiuso.

Controllo ad anello aperto

Nel controllo ad anello aperto l'ingresso viene impostato in modo predefinito, stimando a priori il comportamento del sistema. Viene quindi imposto all'ingresso una variabile o un valore costante, calibrato secondo certe esigenze, in modo che l'uscita assuma il valore atteso; tutto questo però senza avere una verifica dell'effettivo valore in uscita.

Nella figura che segue è schematizzato un sistema di controllo ad anello aperto.



Dove:

- $i(t)$ è la variabile di ingresso di controllo.
- $u(t)$ è la variabile di uscita controllata.
- $d(t)$ sono i disturbi.

Questo tipo di controllo è adatto nei seguenti casi:

- Quando si conosce in modo preciso la relazione tra ingresso e uscita.
- L'influenza dei disturbi è nota o stimabile statisticamente.
- Non è richiesta un'alta precisione.

La modalità manuale dell'aspiratore è un controllo ad anello aperto, dove viene inserita una velocità di rotazione della soffiante fissa e mantenuta costante, indipendentemente dal comportamento dell'impianto.

Controllo ad anello chiuso

Il controllo ad anello chiuso si tratta invece di una struttura più sofisticata di quella ad anello aperto, in grado di modificare l'intervento in funzione della risposta.

In questa strategia l'uscita viene misurata e confrontata con un valore di riferimento U_{Rif} , che rappresenta l'uscita ideale. Nel caso in cui viene rilevato uno scostamento, il sistema di controllo provvede a variare l'ingresso in modo da rimandare al valore di uscita preventivato; azione che viene eseguita dal controllore, che ricevendo dal meccanismo di retroazione negativa la variabile controllata permette di avere una continua osservazione di essa.

Nella figura che segue è schematizzato un sistema di controllo ad anello chiuso.



Dove:

- U_{Rif} è il target di riferimento.
- $u(t)$ è la variabile controllata.
- $e(t)$ è l'errore ($U_{Rif} - u(t)$).
- $c(t)$ è l'uscita del controllore.
- $i(t)$ è l'ingresso del sistema da controllare.
- $d(t)$ è il disturbo.

Lo scopo di un sistema di controllo ad anello chiuso è quello di assicurare un'alta precisione statica, una buona reiezione dei disturbi in regime permanente, ed una buona precisione dinamica e un'alta stabilità nel transitorio. Il controllo automatico è una tipologia di controllo ad anello chiuso, dove il sistema è in grado di correggere automaticamente il proprio comportamento in base alle condizioni di funzionamento, senza bisogno di intervento umano diretto.

L'impianto studiato utilizzerà uno dei controlli più noto in ambito industriale, ovvero il controllo PID.

12.3 Controllo PID

Il controllo PID è una delle tecniche più comuni utilizzate nei sistemi di controllo chiusi. Il suo nome deriva dalle tre azioni che il sistema esegue per ottenere il comportamento desiderato:

- P (Proporzionale)
- I (Integrale)
- D (Derivativo)

Il controllo PID agisce sulla differenza tra il valore desiderato (setpoint) e il valore misurato, ovvero l'errore, cercando di ridurre quest'ultimo nel tempo.

Controllo proporzionale

La componente proporzionale è la parte più semplice del controllo PID. Essa si occupa di aumentare o diminuire la variabile di controllo in base all'errore attuale, cioè alla differenza tra il valore desiderato (setpoint) e il valore effettivo del sistema (il valore misurato).

La formula per il termine proporzionale è:

$$P = K_p \cdot e(t)$$

Dove:

- K_p è il guadagno proporzionale
- $e(t)$ è l'errore al tempo t , ovvero la differenza tra setpoint e il valore misurato

Il guadagno è un moltiplicatore diretto da cui dipende l'influenza della componente sul sistema, è opportuno quindi tararlo per avere un corretto funzionamento del controllo.

Un guadagno proporzionale alto implica una risposta più rapida, ma può portare a instabilità se troppo alto. Un guadagno troppo basso, invece, rallenta la risposta.

Controllo integrale

La componente integrale cerca di eliminare l'errore residuo che persiste nel sistema. Questo errore può essere causato da fattori che non sono corretti dal solo controllo proporzionale. L'integrale accumula l'errore nel tempo e agisce per correggerlo.

La formula per il termine integrale è:

$$I = K_i \cdot \int e(t) dt$$

Dove:

- K_i è il guadagno integrale.
- $\int e(t) dt$ è l'integrale dell'errore nel tempo.

Il termine integrale si accumula costantemente, quindi corregge gli errori persistenti. Tuttavia, se troppo alto, può causare un eccesso di correzioni, portando a oscillazioni (overshoot) o instabilità.

Controllo derivativo

La componente derivativa cerca di anticipare l'andamento del sistema, in base al tasso di cambiamento dell'errore stesso. Questo aiuta a ridurre le oscillazioni e migliorare la stabilità del sistema.

La formula per il termine derivativo è:

$$D = K_d \cdot \frac{d e(t)}{dt}$$

Dove:

- K_d è il guadagno derivativo
- $\frac{d e(t)}{dt}$ è la derivata dell'errore, cioè la velocità di variazione dell'errore.

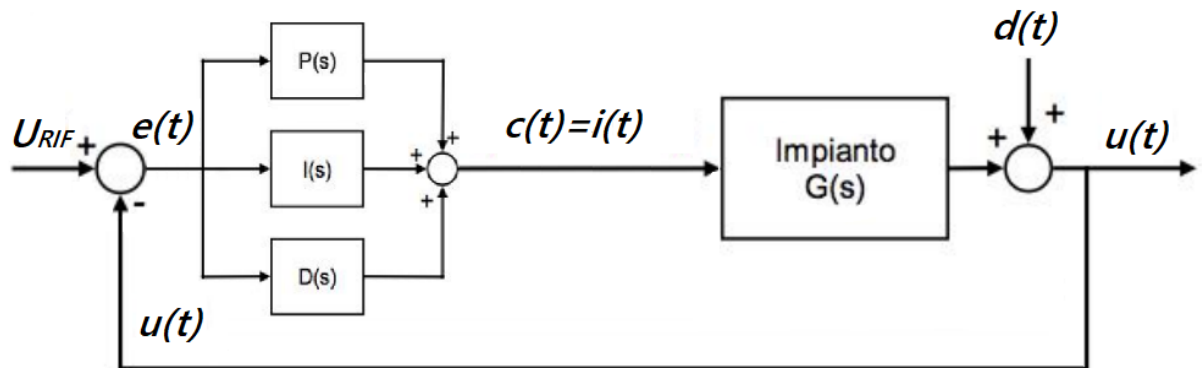
Il guadagno derivativo (K_d) moltiplica la derivata dell'errore, cioè la velocità con cui l'errore sta cambiando. Questo aiuta ad anticipare i cambiamenti nell'errore e ridurre le oscillazioni.

Tuttavia, un guadagno derivativo troppo alto può causare sensibilità eccessiva al rumore, riducendo la stabilità del sistema.

La componente derivativa non modifica l'errore diretto, ma agisce sulla velocità con cui cambia l'errore, rendendo il sistema più reattivo.

Schema di controllo PID

Sostituendo il controllore generico, con un controllore PID è possibile ottenere il seguente schema a blocchi:



Dove:

- U_{Rif} è il target di riferimento.
- $u(t)$ è la variabile controllata.
- $e(t)$ è l'errore ($U_{Rif} - u(t)$).
- $c(t)$ è l'uscita del controllore PID.
- $i(t)$ è l'ingresso del sistema da controllare.
- $d(t)$ è il disturbo.
- $P(s)$ è la componente proporzionale del controllore PID.
- $I(s)$ è la componente integrale del controllore PID.
- $D(s)$ è la componente derivativa del controllore PID.
- $G(s)$ è il sistema da controllare.

Contestualizzazione al nostro impianto di aspirazione

Ora che sono stati introdotti i concetti base necessari per capire il funzionamento del controllo dell'impianto è possibile contestualizzarlo al nostro aspiratore.

Riprendendo quindi i concetti mostrati poco sopra nello schema a blocchi è possibile sostituire i fattori con quelli del nostro impianto:

- U_{Rif} è uguale al target di pressione inserito dall'utente in fase di parametrizzazione dell'impianto.

- $u(t)$ è il valore di pressione che viene misurato dal punto di pressione posto all'uscita del ciclone, per misurarlo è utilizzato uno dei due sensori di pressioni a bordo del PLC

- $e(t)$ rappresenta lo scostamento tra il target di pressione ed il valore di pressione misurato, ed è quello su cui il PID si basa per regolare il sistema.

- $P(s)$, $I(s)$, $D(s)$: il controllore PID è sviluppato all'interno del programma del PLC, nel caso studio il guadagno integrale è uguale a zero, ciò equivale a dire che il controllore utilizzato è un PD, ovvero senza la componente integrale.

- $c(t)$, $i(t)$: essi sono l'uscita analogica controllata dal PLC e l'ingresso del sistema da controllare, che è un segnale di tensione da 0 a 10 V

- $d(t)$ sono i disturbi presenti nel sistema, come disturbi di segnale, errori di lettura del sensore, variazioni di taratura degli strumenti dovute alla temperatura, essi vengono poi filtrati a livello software con l'utilizzo del PLC.

- $G(s)$ è il sistema controllato, ovvero l'insieme di inverter, soffiante a canale laterale e impianto di tubazioni.

L'ingresso analogico proveniente dal PLC gestisce la frequenza dell'inverter, che a sua volta varia la velocità di rotazione della soffiante a canale laterale.

12.3 L'utilità della regolazione automatica

Per capire al meglio l'utilità di avere una regolazione automatica è necessario introdurre alcuni concetti aeraulici.

Nel caso di studio, il cliente ha necessità di controllare la depressione del sistema, non facendo sì che essa superi un limite massimo di depressione e che allo stesso tempo non vada sotto un limite minimo.

Questo perché una depressione troppo alta (quindi a sua volta un'alta velocità dell'aria nella tubazione) può compromettere il funzionamento dell'utensile che lavora le schede PCB o addirittura romperlo, mentre una depressione troppo bassa non garantisce un'aspirazione efficace; è quindi necessario lavorare sempre nell'intorno di un intervallo ottimale, ovvero il target di pressione impostato.

Un'altra caratteristica fondamentale dell'impianto è che le macchine di lavorazione chiudono automaticamente la bocca di aspirazione attraverso delle serrande di chiusura, non lavorando sempre in modo simultaneo.

Questa condizione, nel caso in cui non ci fosse una regolazione automatica, potrebbe quindi creare delle situazioni dove in una/due bocchette di aspirazione è concentrata tutta la portata e la depressione generate dall'aspiratore, raggiungendo velocità estremamente alte e di conseguenza che porterebbero alla rottura degli utensili dei macchinari e ad un alto consumo di energia (potenziali sovraccarichi).

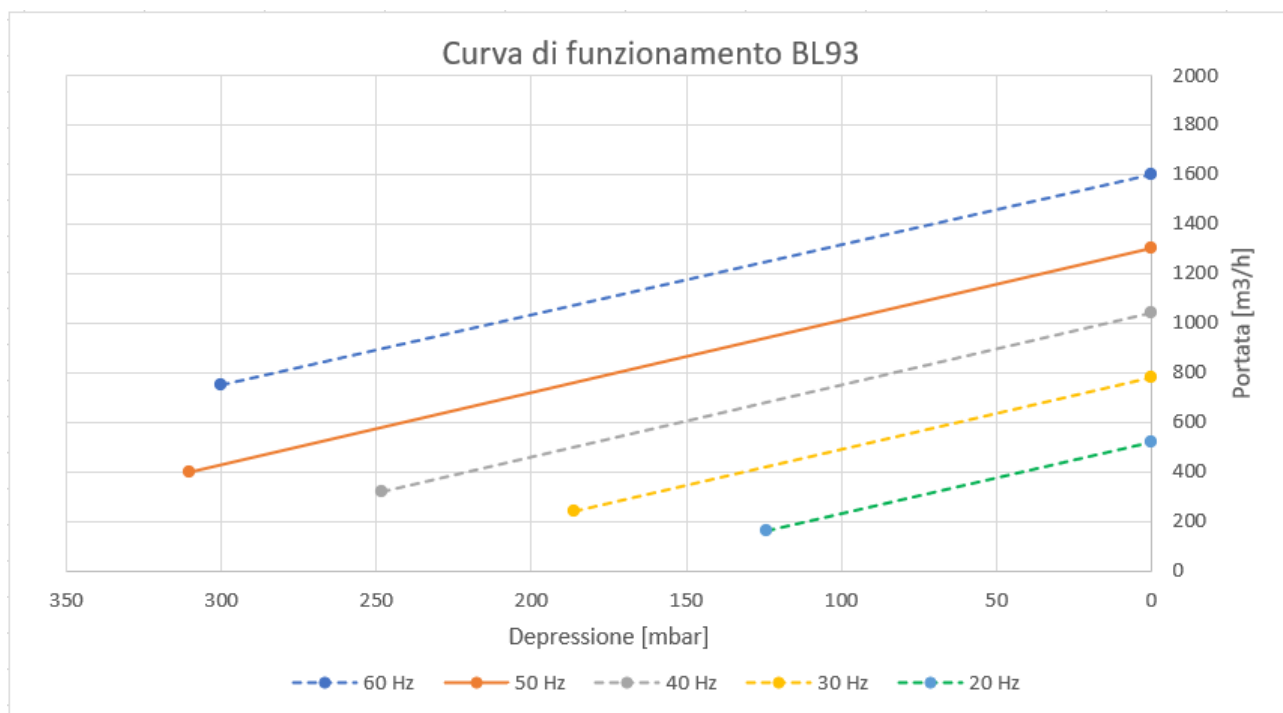
L'apertura e chiusura delle bocchette di aspirazione rende l'impianto aeraulico un sistema dinamico, che varia in continuazione la sua curva caratteristica.

L'impianto ha una bassa resistenza nel momento in cui ci sono molte bocchette aperte, ciò significa che per arrivare al target di pressione è necessaria una portata d'aria maggiore. La motivazione sta nel fatto che la somma totale delle sezioni delle tubazioni aspiranti (mm^2) è superiore.

Viceversa, nel momento in cui ci sono poche bocchette aperte si ha una resistenza maggiore, e quindi per raggiungere il target di pressione sarà necessaria una portata d'aria inferiore.

La resistenza è maggiore poiché la somma totale delle sezioni (mm^2) è inferiore, obbligando l'aria a fluire in uno spazio ristretto.

Per questo è necessario regolare la portata generata dalla soffiante a canale laterale, e per fare ciò è necessario variare la velocità di rotazione della sua girante.



Il grafico sopra rappresenta le curve di lavoro a frequenze diverse della soffiante a canale laterale utilizzata nel nostro impianto.

È possibile notare come al diminuire della frequenza di rotazione e a parità di depressione, la portata sviluppata è inferiore.

Il controllore PID, contenuto all'interno del software del PLC, modulerà la frequenza di lavoro dell'inverter, e quindi la velocità di rotazione della girante.

La frequenza di rotazione sarà bassa nel momento in cui l'impianto a poche bocchette aperte.

Viceversa la frequenza di rotazione sarà alta nel momento in cui l'impianto ha molte bocchette aperte.

12.4 Controllo di pressione a bordo dei macchinari

La regolazione automatica vista fino ad ora è già sufficiente per avere un buon controllo del sistema, ma come anticipato negli obiettivi dell'impianto, il cliente ha un'ulteriore necessità: quella di garantire che ad ogni macchinario singolarmente sia garantita una depressione minima.

Per fare ciò è stato implementato un controllo di pressione per ogni macchina di lavorazione all'imbocco dell'aspirazione, in modo visibile all'operatore, e che in caso di non raggiungimento del target di pressione minima, comunichi con il PLC in modo da garantire all'impianto un'aspirazione ottimale.

Di seguito è spiegato il processo per la creazione dell'ulteriore soluzione implementata all'impianto.

Sensore di pressione: SMC ZSE20A

Per il monitoraggio della pressione è stato utilizzato un sensore di pressione digitale, di tipo differenziale della SMC.



Il modello utilizzato è il ZSE20A, dotato di un display digitale che consente all'utente di vedere in modo intuitivo il valore di pressione misurato. La pressione viene misurata attraverso un attacco rapido posto nella parte posteriore del sensore.

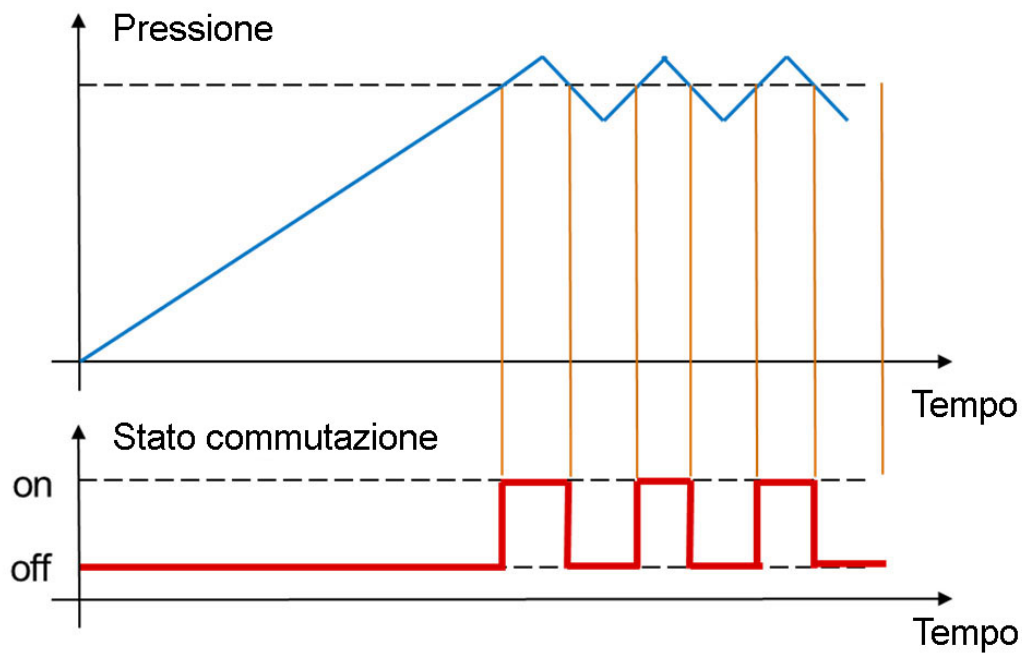
Sono presenti un totale di dieci sensori, uno per ogni bocca di aspirazione collegato in maniera visibile al di sopra dei macchinari.

Il sensore viene alimentato a 24 V DC, utilizzando un cavo dotato di connettore fornito dalla casa madre.

Il funzionamento del sensore

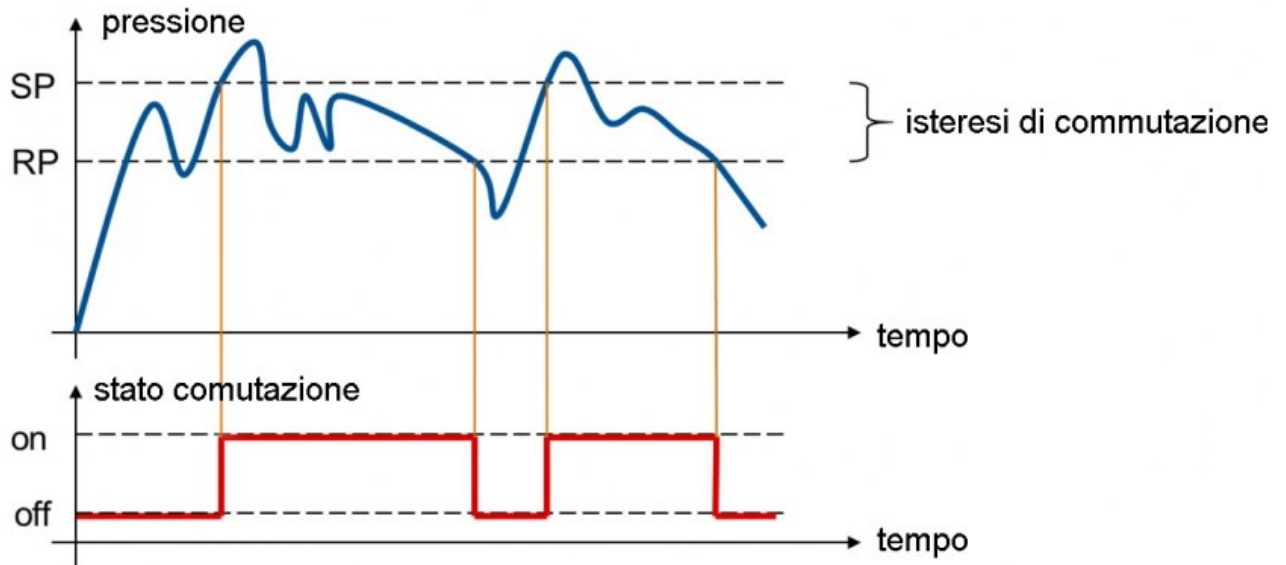
Il sensore ha diverse logiche di funzionamento programmabili, quella utilizzata per la nostra applicazione è la seguente.

Sul sensore viene impostata una depressione target (set point), sopra la quale esso abilita un output elettrico (tramite filo dedicato), ovvero un funzionamento ON-OFF; di seguito una rappresentazione grafica.



Questo tipo di funzionamento può però causare instabilità nel sistema a causa delle oscillazioni nell'intorno del set point.

Il sensore è dotato quindi di una funzione “isteresi”, il suo comportamento è di seguito rappresentato graficamente:



L'isteresi è generalmente definita come la differenza tra il set point (SP) e il punto di reset (RP).

Il suo funzionamento consente di ridurre le oscillazioni nelle misurazioni. In particolare, una volta raggiunto il set point, ossia il valore in cui l'uscita del sensore passa allo stato "on", affinché l'uscita passi allo stato "off" non è più sufficiente scendere al di sotto del set point, ma è necessario che la misura scenda anche sotto un ulteriore valore, chiamato punto di reset.

Nel sensore utilizzato è possibile impostare il valore di isteresi in fase di programmazione.

Oltre a inviare un segnale elettrico il valore di pressione mostrato sul display passa da un colore rosso ad un colore verde una volta raggiunto il set point, dando un ulteriore feedback visivo all'operatore.

La logica cablata

Considerando i limitati ingressi disponibili sul PLC, si è scelto di adottare un consenso unico che comprendesse tutti i sensori, implementando una logica AND.

Pertanto, per avere il consenso dei sensori, è necessario che tutti raggiungano il set point di pressione. Al contrario, basta che anche uno solo dei sensori non raggiunga il set point per non dare il consenso al PLC.

Per poter creare questa logica è stato necessario creare un circuito con delle piccole scatole elettriche che riuscissero a contenere tutti i componenti per garantire la trasmissione del segnale.

Sono state previste tre tipi di scatole:

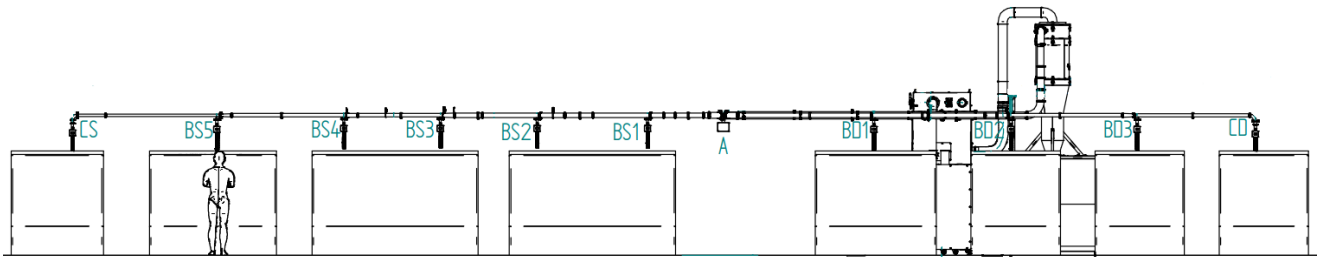
- Scatola di tipo A: è la scatola che raccoglie tutti i consensi e che comunica in modo diretto con il PLC, i componenti utilizzati sono:
 - Scatola elettrica Gewiss modello 44117, con dimensioni di 190 mm x 140 mm x 110 mm.
 - Relè Finder 24 DC
 - Lampade di segnalazione
 - Sirena (collegata al PLC, indipendente dalla logica dei sensori)
 - Morsettiera
- Scatola di tipo B: è una scatola di piccole dimensioni con al di sopra montato (in modo visibile) il sensore di pressione, i componenti utilizzati sono:
 - Scatola elettrica Gewiss modello 44114, con dimensioni di 100 mm x 100 mm x 80mm.
 - Relè Finder 24 DC
 - Sensore di pressione SMC, ZSE20A
 - Morsettiera
- Scatola di tipo C: differisce dalla scatola di tipo B solamente per un collegamento elettrico interno, la componentistica utilizzata è la stessa.

Le scatole sono state previste di una denominazione, facilitando il montaggio in sede del cliente, anche attraverso un pre-montaggio ottimizzato al meglio.

Ogni scatolina è fissata alla tubazione attraverso una staffa filettata; la filettatura è anche utilizzata come presa di pressione del sensore.

Di seguito è presente la disposizione con la denominazione di ogni scatola.

Le denominazioni divergono in base al ramo in cui sono posizionate (S per il ramo sinistro e D per il ramo destro).

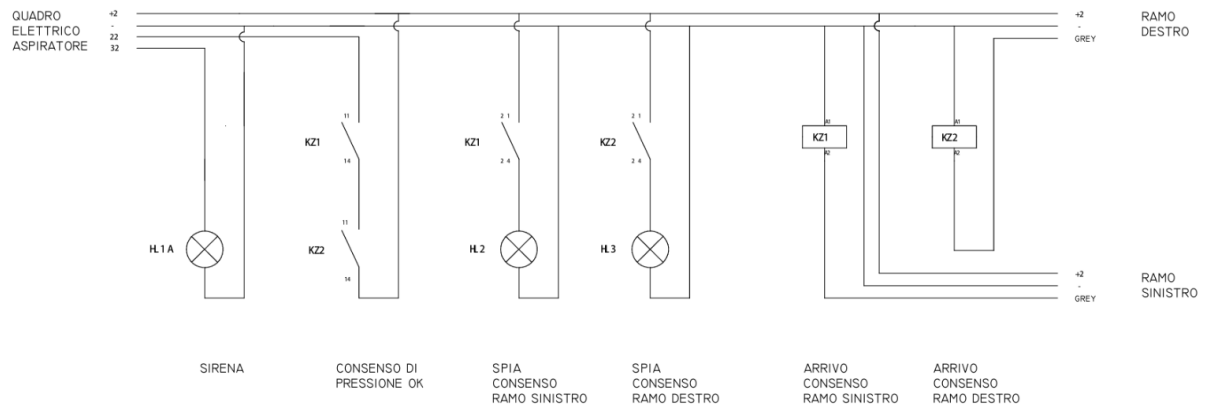


Schema dell'impianto del cliente con il posizionamento e la nomenclatura delle scatole elettriche

Schema elettrico funzionale

Una volta progettate le scatole elettriche da utilizzare è possibile passare al collegamento elettrico.

Scatola di tipo A



La figura sopra rappresenta il collegamento della scatola di tipo A.

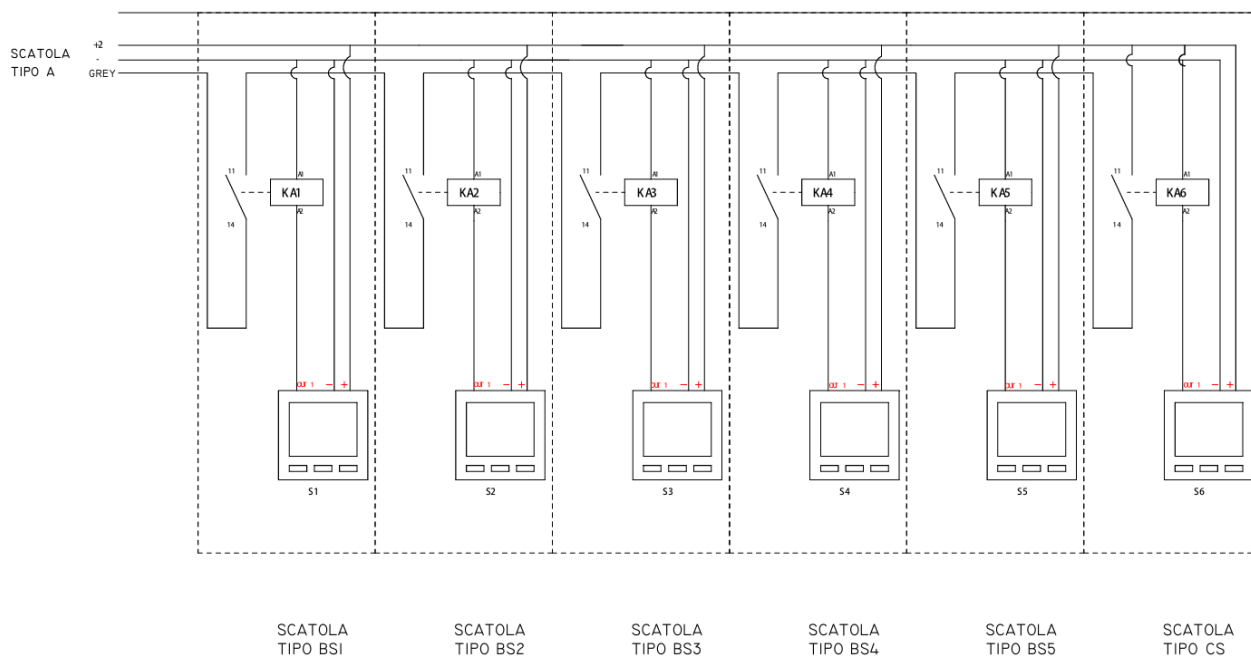
Partendo da sinistra è possibile notare l'arrivo dell'alimentazione e dei cavi che trasportano il segnale dall'aspiratore:

- cavo n.+2: alimentazione 24 V DC (+)
- cavo n.-: massa (-)
- cavo n. 22: segnale di consenso diretto al quadro dell'aspiratore
- cavo n. 32: segnale per avvio sirena HL1A (proveniente dal PLC)

Proseguendo è possibile notare il collegamento in serie di due contatti normalmente aperti, KZ1 e KZ2; essi appartengono a due relè utilizzati per raccogliere i segnali provenienti dai sensori del ramo di destra per KZ2 e i sensori del ramo di sinistra per KZ1

Inoltre, sono stati utilizzati altri due contatti NO dei medesimi relè per l'accensione di due spie di segnalazione (HL2, HL3) presenti sulla scatola, queste spie servono per individuare quale dei due rami ha raggiunto in ogni bocca di aspirazione il target di pressione preimpostato.

Ramo sinistro



Il ramo sinistro è composto da sei calate, ognuna provvista di un sensore.

L'alimentazione del ramo proviene dalla scatola A e trasmessa attraverso una dorsale in tutte le scatole. L'alimentazione entra quindi in ogni scatola attraverso un cavo 3x0,75 passante per una guaina che si collega ad una morsettiere, e allo stesso modo esce diretto alla scatola successiva.

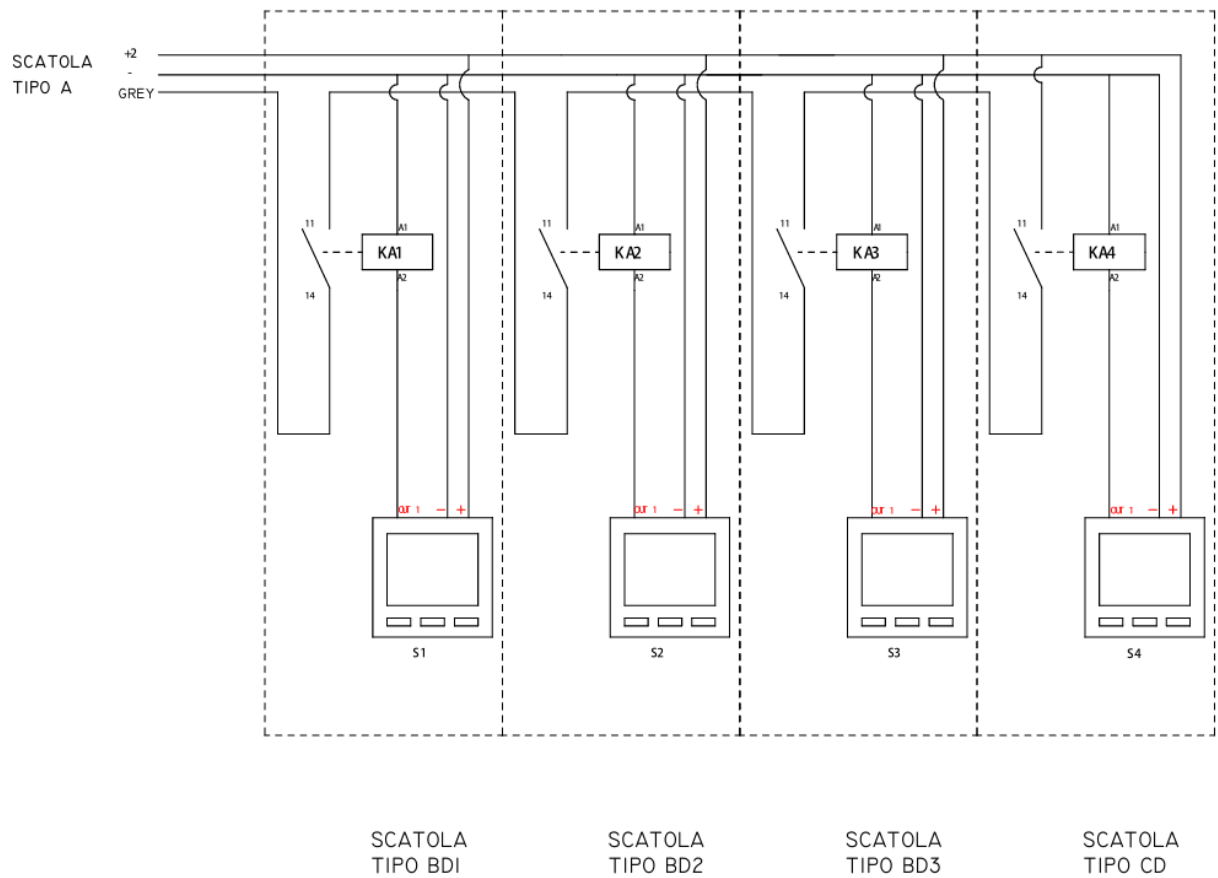
Ogni scatola contiene un relè che viene alimentato dal segnale del sensore di pressione presente sulla scatola.

I contatti normalmente aperti dei relè sono stati collegati in serie per trasmettere il segnale, utilizzando il terzo cavo presente, ovvero il grigio.

Come è possibile notare dallo schema la scatola di tipo C differisce dalle scatole di tipo B, poiché il contatto normalmente aperto del segnale è connesso ad un'estremità al positivo dell'alimentazione (+2).

Nel momento in cui tutti i sensori raggiungono il set point impostato, viene eccitato il relè KZ1.

Ramo destro



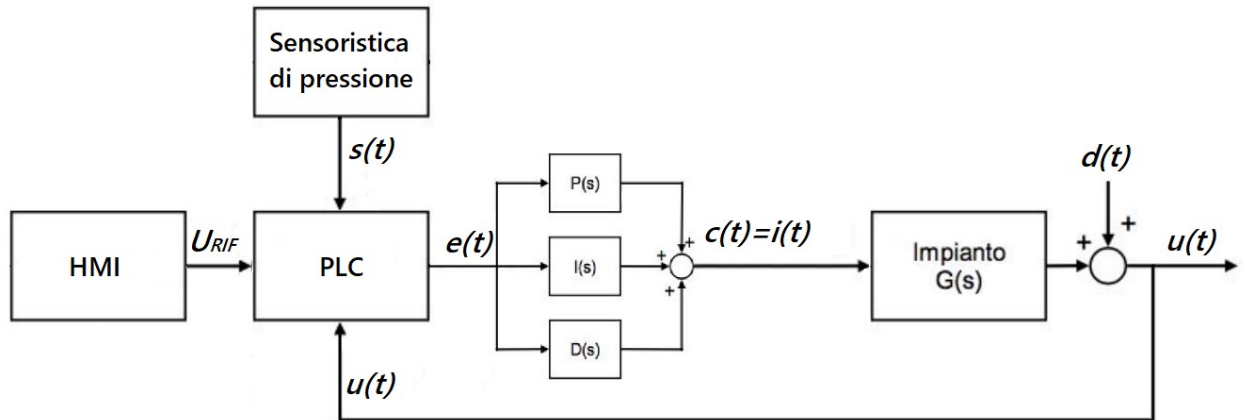
Il ramo destro è composto da quattro calate, ognuna provvista di un sensore.

Il funzionamento è del tutto analogo a quella del ramo sinistro con la differenza che il relè eccitato dalla serie di consensi è KZ2.

Riassumendo, nel momento in cui in entrambi i rami la depressione supera il target preimpostato sui sensori, il PLC riceve un consenso elettrico sul cavo n. 22.

12.5 Schema funzionale del sistema completo

Combinando le logiche analizzate finora, è possibile ottenere il seguente schema:



Il principio di funzionamento è il seguente:

- L'utente inserisci il valore di pressione target desiderato (U_{RIF}) attraverso l'interfaccia HMI
- Il PLC elaborando il valore di pressione misurato ($u(t)$) e il target di pressione (U_{RIF}), invia al PID (sempre contenuto all'interno del PLC) l'errore ($e(t)$).
- Il PID elabora l'errore ($e(t)$) e in uscita manda un valore di tensione da 0 a 10 V che viene inviato all'inverter ($c(t)$).
- L'inverter riceve il segnale ($i(t)$) e modula la frequenza di alimentazione della soffiante laterale, modificando la portata d'aria che passa attraverso le tubazioni dell'impianto.
- Il processo si ripete fino a che la pressione misurata ($u(t)$) non è uguale al target del sistema (U_{RIF}).
- Nel momento in cui i valori sono misurati il PLC verifica il consenso del circuito di sensoristica di pressione ($s(t)$) montati sui macchinari.
- Nel caso in cui sia presente un riscontro positivo (segnale ON), allora continua con la sua regolazione.

-Nel caso in cui il riscontro è negativo (segnale OFF) viene aumentato il target di pressione di un'unità predefinita, facendo poi ripartire il processo di regolazione fino a che non si ha un riscontro positivo dei sensori.

-Il target di pressione viene poi riportato al valore predefinito in fase di parametrizzazione nel momento in cui l'impianto modifica il suo punto di lavoro.

12.5 Fase di collaudo

In fase di collaudo in sede del cliente è stato verificato che tutte funzioni base dell'aspiratore fossero operative, la sensoristica collegata e funzionante e che le tubazioni non avessero perdite.

Fatto ciò, si è passati alla parametrizzazione del PID, fatta in modo empirico con riferimento anche ad applicazioni precedentemente installate.

Dopo una fase iniziale dove il sistema tendeva ad una leggera instabilità nella condizione più critica (ovvero quando tutti i macchinari hanno la bocca di aspirazione chiusa) attraverso alcune modifiche di parametrizzazione è stato trovato un buon compromesso tra precisione e reattività del sistema, dando quindi un esito più che positivo.

Si ipotizza che il problema derivasse dalle dimensioni dell'impianto di tubazioni (circa 30 metri totali), che aveva una risposta più lenta del PID, che per compensare tendeva a forti oscillazioni, a causa dell'alto guadagno derivativo.

13. Industria 4.0 e risparmio energetico

L'impianto trattato è inoltre conforme allo standard dell'industria 4.0, che prevede vantaggi sia dal punto di vista economico in fase di acquisto, potendo usufruire di incentivi dedicati, sia attraverso il risparmio intrinseco dell'aspiratore, attraverso le sue funzioni.

13.1 Industria 4.0

La terza rivoluzione industriale vide lo sviluppo dell'automazione delle fabbriche e l'introduzione dei robot, mentre la quarta rivoluzione industriale, ovvero l'industria 4.0, mette come punto focale il trattamento dei dati.

Vaste quantità di dati provengono da tutte le aziende e in tutto il mondo, in tempo reale, 24 ore su 24. L'intelligenza artificiale è al centro della quarta rivoluzione industriale, consentendo ai produttori non solo di raccogliere tutti i dati, ma anche di utilizzarli per analizzare, prevedere, comprendere e creare report. Industria 4.0 non è caratterizzata da una sola tecnologia. È definita dall'integrazione senza soluzione di continuità di una serie di sistemi, strumenti e innovazioni.

Attestato di conformità

Per accedere ad eventuali benefici, come gli incentivi, è necessario attestare che la macchina sia conforme alle richieste imposte dalla legge 11 dicembre 2016 n.232.

L'attestato di conformità rilasciato da un ente di certificazione accreditato attesta che il bene:

- possiede caratteristiche tecniche tali da includerlo negli elenchi di cui all'allegato A o all'allegato B annessi alla presente legge.
- è interconnesso al sistema aziendale di gestione della produzione o alla rete di fornitura.

Di seguito un estratto dell'allegato A dove si richiamano i requisiti e il tipo di sistema che la macchina deve avere per poter ottenere la certificazione.

ALLEGATO	A	
Gruppo	2	
Voce	n. 9	Filtri e sistemi di trattamento e recupero di acqua, aria, olio, sostanze chimiche, polveri con sistemi di segnalazione dell'efficienza filtrante e della presenza di anomalie o sostanze aliene al processo o pericolose, integrate con il sistema di fabbrica e in grado di avvisare gli operatori e/o di fermare le attività di macchine e impianti

Nel caso studio:

- L'aspiratore rientra nella voce n.9 Allegato A.
- Può essere interconnesso al software gestionale dell'azienda/processo
- Può scambiare dati che riguardano stato, efficienza filtrante e allarmi

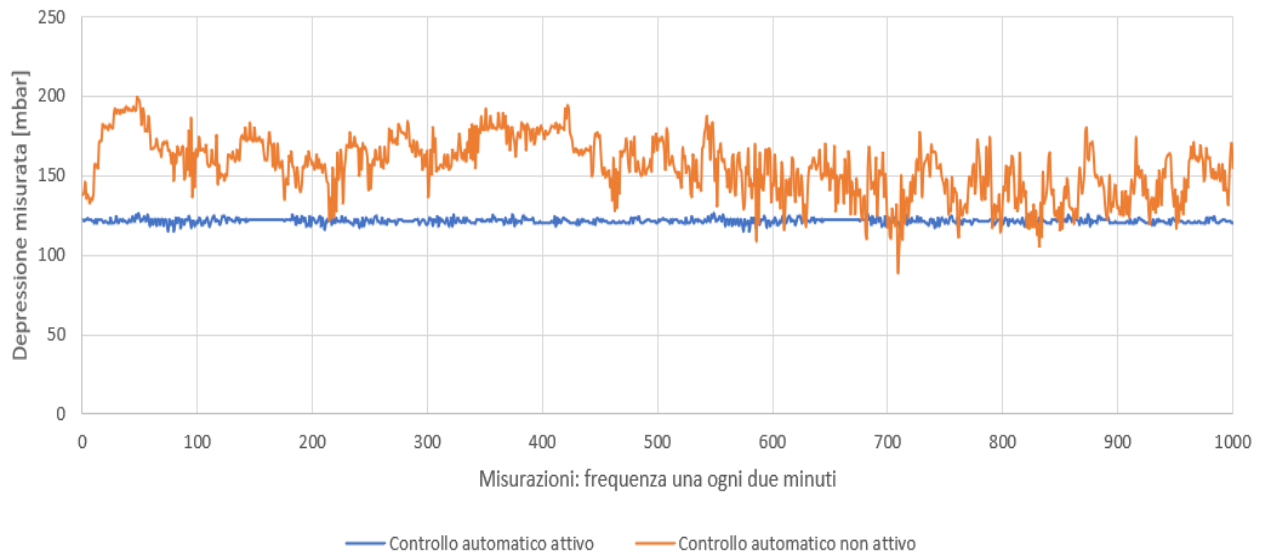
Oltre questo sono necessari altri requisiti per avere un esito positivo della perizia:

- Mezzo di comunicazione con gestionale aziendale: LAN.
- IP Fisso della macchina: l'indirizzo deve essere condiviso e indicato nella documentazione. Diventa identificativo della macchina.
- Protocollo di comunicazione: non esiste vincolo preciso ma la tecnologia attualmente più quotata è OPC UA (protocollo gestito nativamente dal HMI di Weintek).
- Nella documentazione è dichiarata la struttura dati in cui sono presenti le variabili di scambio e anche nome, descrizione e significato delle variabili condivise

13.2 Il risparmio energetico

Grazie ai dati raccolti dall'impianto installato presso il cliente, tramite l'HMI, e ai dati ottenuti da un aspiratore con prestazioni simili, collegato a un impianto aspirante con lo stesso numero di bocchette, è stato possibile generare il seguente grafico, rappresentante sull'asse Y la depressione generata (misurata nel punto di presa posizionato all'ingresso del ciclone), e sull'asse X il numero di misurazioni raccolte con una frequenza di 0,5 misurazioni al minuto, per un totale di 33 ore di lavoro:

Comportamento del controllo automatico



Dal grafico è possibile notare due linee di tendenza:

-Linea arancione: rappresenta la depressione generata in fase di aspirazione nell' impianto dove non è presente una regolazione automatica.

-Linea blu: rappresenta l'impianto sviluppato, attualmente in uso, dove la depressione generata è regolata automaticamente.

Osservando il grafico si può notare come il comportamento dell'impianto senza sistema di controllo non sia lineare, e tende ad oscillare continuamente non raggiungendo mai la stabilità.

A differenza di esso la depressione dell'impianto dotato di sistema di regolazione automatica rimane stabile nel intorno del target di pressione impostato (120 mbar).

Questa differenza di depressione sviluppata dai due impianti porta a sua volta ad un risparmio in termini di energia elettrica consumata, quando presente una regolazione automatica, data dalla caratteristica dell'impianto di lavorare sempre in modo lineare garantendo una giusta aspirazione, senza eccedere né essere insufficiente.

Si stima che in condizioni ottimali, con un impianto dimensionato in modo corretto a livello aeraulico, una regolazione automatica a frequenza variabile e una corretta parametrizzazione, possa portare ad un risparmio energetico superiore del 20% rispetto ad una versione "non intelligente".

14. Conclusioni

Questa tesi ha avuto come obiettivo lo studio e la progettazione di un impianto elettrico per il controllo di un sistema di aspirazione centralizzato, caratterizzato da una regolazione automatica dell'aspirazione attraverso la gestione della frequenza di lavoro della soffiante a canale laterale.

In fase di sviluppo sono state effettuate analisi delle specifiche tecniche del sistema, con scelte della tecnologia utilizzata atte a migliorare l'efficienza dell'impianto, garantendo un risparmio energetico nel contesto del cliente.

L'impianto è attualmente installato presso sede del cliente e in servizio 24/7.

Durante il tirocinio ho avuto la possibilità di ampliare le conoscenze apprese durante gli studi, apprendendo il metodo di lavoro di un'azienda strutturata, e partecipando al lavoro di squadra che ha dato vita al progetto appena visto.

Il tirocinio mi ha permesso di acquisire familiarità con le sfide quotidiane del mondo del lavoro, consolidando la mia preparazione per affrontare progetti complessi in ambito industriale.

In conclusione, l'esperienza acquisita attraverso questo progetto di tesi rappresenta un'importante base per il mio futuro professionale, stimolando ulteriormente il mio interesse verso la progettazione di sistemi innovativi e sostenibili in ambito elettrico e industriale.

Ringraziamenti finali

Ringrazio a tutta la mia famiglia per avermi supportato nel mio percorso, economicamente e moralmente, vi sarò per sempre grato.

Ringrazio ai miei amici e ai colleghi universitari per avermi accompagnato in questi anni.

Ringrazio ai docenti universitari e Michele Aurelio, relatore di questa tesi.

Ringrazio Emanuele Cecchetelli, il mio tutor aziendale, per avermi spiegato con pazienza nuovi concetti, guidato attraverso questo percorso, e permesso di crescere come persona.

Infine, un ringraziamento speciale va ad Andrea Alessandrini, il gruppo iVision ed ai colleghi, per avermi accolto all'interno dell'azienda e dato l'opportunità di prendere parte in modo attivo a svariati progetti.

Bibliografia

Siti web consultati:

- <https://cicloniseparatori.it>
- <https://www.siemens.com/it>
- <https://catalogue.lovatoelectric.com/it>
- <https://www.weintek.com>
- https://www.studiocz.eu/files/5_1---TEC_INSTALLAZIONI---DIMENSIONAMENTO-LINEE-E-PROTEZIONI---OKK.pdf
- <https://teachgranny.it/materie/2-tabella-della-portata-iz/>
- <https://blog.wika.it/knowhow/>
- <https://www.technoenergia.it/colori-pulsanti-comando/>
- <https://www.sap.com/italy/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html>
- <https://biblus.acca.it/>

Testi utilizzati:

- "Manuale di elettrotecnica, elettronica e automazione " Autori vari. Editore Hoepli edizione 2017.

Normativa come citata nel testo.

Progetti e commesse:

Progetti realizzati durante il tirocinio presso "iVision Evolution S.R.L." - Montegridolfo (PU)